

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2013

Bc. Petr Stýskala

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Vytvoření automatizovaného měřicího
pracoviště s multifunkční jednotkou
Agilent

Creating an automated measuring
workstation with multifunctional unit
Agilent

2013

Bc. Petr Stýskala

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Petr Stýskala

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612T025 Informatika a výpočetní technika

Téma:

**Vytvoření automatizovaného měřicího pracoviště s multifunkční
jednotkou Agilent**
**Creating an automated measuring workstation with multifunctional unit
Agilent**

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je vytvořit automatizované měřicí stanoviště pro testování šroubových kompresorů s výkonem do 350 kW. Jedná se o výběr vhodných měřicích karet pro měření požadovaných veličin (teplota, tlak, vlhkost, napětí, proud, odpor, hluk), řízení procesů (digitální I/O pro ovládání hardware a čtení stavů) a výběr příslušných čidel. Následně bude pro toto stanoviště navržen aplikační software pro multifunkční jednotku Agilent 34980 v programovacím prostředí LabView. Měřicí stanoviště bude automaticky provádět vybraná specializovaná měření a ke každému měření bude vytvořen protokol o průběhu a výsledcích měření.

1. Popište jednotku Agilent a analyzujte možné hardwarové řešení stanoviště.
2. Navrhněte a realizujte zkušební měřicí stanoviště. Vytvořte projektovou dokumentaci.
3. Vytvořte aplikaci splňující veškeré požadavky na automatizovaná měření s uživatelsky přívětivým ovládacím prostředím, vhodnou vizualizací měřených dat a prezentací výsledných naměřených a vypočítaných hodnot.
4. Instalujte aplikaci na realizovaném zkušebním stanovišti. Vytvořte uživatelský návod pro zaškolení obsluhy. Proveďte zkušební měření k ověření všech požadovaných funkcí stanoviště.
5. Implementujte zjednodušenou verzi pracoviště nevyžadující knihovny LabView.

Seznam doporučené odborné literatury:

www.home.agilent.com - Agilent Technologies, 2010
www.ni.com/labview - National Instruments, Software LabView, 2010

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



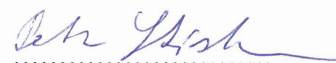
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 2.5.2013



Bc. Petr Stýskala

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Tomáši Mlčákovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultace při vytváření této práce.

Abstrakt

Cílem diplomové práce je vytvořit automatizované měřicí pracoviště pro testování šroubových kompresorů s výkonem do 350 kW. K tomuto účelu je k dispozici multifunkční jednotka Agilent 34980A. K měření požadovaných veličin, kde jde zejména o teplotu, tlak, vlhkost, napětí a odpor, budou vybrány vhodné měřicí karty a proveden výběr příslušných čidel. Následně bude pro toto stanoviště navržen aplikační software v programovacím prostředí Labview, který bude obsahovat požadované moduly pro automatická specializovaná měření a ke každému měření bude vytvořen protokol o průběhu a výsledcích měření. Aplikační software bude nainstalován na zkušebním stanovišti, vytvořen uživatelský návod pro zaškolení obsluhy a provedeno zkušební měření k ověření všech požadovaných funkcí stanoviště. Nakonec bude implementována zjednodušená verze aplikace nevyžadující knihovny LabView.

Klíčová slova

LabView, Agilent 34980A, měření, VISA

Abstract

The thesis is creating automated measuring workstation for testing screw compressors with power up to 350W. For this purpose the available multi-function unit Agilent 34980A. To measure the required quantities, which are mainly temperature, pressure, humidity, voltage and resistance will be selected suitable measuring cards and make a selection of relevant sensors. Then will be for this workstation designed application software in Labview programming environment, which will contain the required specialized modules for automatic measurement and to preach-demos measurement protocol will be created on the course and outcome measurement. Application software will be installed on the test, created user manual for operator training and test measurements made to verify all required functions workstation. Eventually be implemented in a simplified version of the application does not require LabView libraries.

Key words

LabView, Agilent 34980A, measuring, VISA

Seznam použitých symbolů a zkratek

AC	Střídavý proud
CSV	typ souboru určený k ukládání tabulkových dat
DC	Stejnoseměrný proud
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
GPIB	General Purpose Interface Bus (IEEE-488)
GUI	Graphical User Interface
INI	typ souboru určený k ukládání konfigurací počítačových aplikací
IVI-C/COM	programová rozhraní IVI Foundation pro přístrojové ovladače
NI	National Instruments – výrobce LabView
SCPI	Standard Commands for Programmable Instruments
subVI	podprogram vytvořený ve vývojovém prostředí LabView, který je volán z jiného VI
USB	Universal Serial Bus
VI	program vytvořený ve vývojovém prostředí LabView
VISA	Virtual Instrument Software Architecture

Seznam obrázků

Obrázek 1: Multifunkční jednotka Agilent 34980A.....	7
Obrázek 2: Konektorový blok Agilent 34921A	12
Obrázek 3: Pojízdny stůl měřicího stanoviště s jednotkou Agilent.....	13
Obrázek 4: Inicializace Agilentu 34980A v LabView	21
Obrázek 5: Základní diagram aplikace.....	22
Obrázek 6: Diagram aktivit pro univerzální měření.....	23
Obrázek 7: Project Explorer a jeho struktura	25
Obrázek 8: Blokový diagram - správa panelů vstupního modulu aplikace	26
Obrázek 9: Ukázka konfigurace kanálů v Event struktuře pro univerzální měření.....	27
Obrázek 10: SubVI - vyhodnocení duplicity kanálů při měření oteplení motoru	28
Obrázek 11: Konfigurace grafu u měření LAT/CTD	29
Obrázek 12: Část subVI s výpočtem u měření Flow	31
Obrázek 13: Zkušební měřicí pracoviště.....	33
Obrázek 14: Výstupní CSV soubor z univerzálního měření	38
Obrázek 15: Ukázka výstupního CSV souboru měření LAT/CTD	39
Obrázek 16: Ukázka výstupního CSV souboru měření Flow.....	40
Obrázek 17: Graf - Přímé měření oteplení	40
Obrázek 18: Ochlazovací charakteristika u nepřímého měření oteplení.....	41
Obrázek 19: Konfigurační obrazovka měřicího programu v C#	43
Obrázek 20: Výběr prvků a funkcí z nabídek v LabView	45

Obsah

1	Úvod	6
2	Popis jednotky Agilent 34980A a analýza možného hardwarového řešení stanoviště.....	7
2.1	Měřicí jednotka Agilent 34980A	7
2.2	Zásuvné karty	8
2.2.1	40-kanálový multiplexer Agilent 34921A	8
2.2.2	Multifunkční modul Agilent 34952A	9
2.3	Počítač.....	9
3	Návrh a realizace zkušební měřicího stanoviště včetně projektové dokumentace	11
3.1	Měřené veličiny, převodníky a vodiče	11
3.2	Měřicí stůl a příslušenství	12
3.3	Projektová dokumentace	14
4	Vytvoření aplikace	15
4.1	Základní požadavky na aplikaci.....	15
4.2	Jednotlivá měření	15
4.2.1	Univerzální měření	15
4.2.2	Měření LAT/CTD.....	16
4.2.3	Měření Flow	16
4.2.4	Měření oteplení motoru	18
4.3	Současný stav měření.....	19
4.4	LabView.....	19
4.4.1	Stručné seznámení s LabView.....	19
4.4.2	Základní popis prostředí LabView	20
4.4.3	Komunikace jednotky Agilent s LabView	20
4.5	Analýza požadavků na aplikaci.....	21
4.6	Návrh implementace	22
4.7	Implementace v LabView	24
4.7.1	Vstupní modul	24
4.7.2	Moduly měření	26
5	Instalace aplikace, vytvoření uživatelského návodu a zkušební měření.....	33
5.1	Instalace aplikace na zkušebním pracovišti	33

5.2	Uživatelský návod pro zaškolení obsluhy.....	34
5.3	Zkušební měření.....	37
5.3.1	Zkušební univerzální měření	37
5.3.2	Zkušební měření LAT/CTD	38
5.3.3	Zkušební měření Flow	39
5.3.4	Zkušební měření oteplení motoru.....	40
6	Zjednodušená verze aplikace nevyžadující knihovny LabView	42
6.1	Implementace zjednodušené verze v C#.....	42
6.2	Porovnání s LabView aplikací	44
6.2.1	Výhody textových programovacích jazyků (C#).....	44
6.2.2	Výhody LabView (G).....	44
7	Závěr.....	46
	Literatura	47
	Seznam příloh.....	49

1 Úvod

Ve své diplomové práci se zabývám analýzou a implementací měřicího stanoviště k testování šroubových kompresorů pro výrobní závod společnosti Ingersoll-Rand Czech Republic s.r.o. v Uničově.

Touto prací navazuji na svou předchozí bakalářskou práci s názvem „Návrh univerzálního testovacího programu v LabView pro univerzální měřicí ústřednu Agilent 34980“. Celou tematiku pojmu více do hloubky a také výsledná aplikace, kromě toho, že bude obsahovat kompletní soubor všech požadovaných druhů specializovaných měření, bude až na některé společné GUI prvky a autorizaci, nově zpracovaná.

Na tématu mě zaujalo především programování v grafickém programovacím jazyce, označovaném také jako jazyk „G“, kdy jsem si tento druh programování mohl vyzkoušet už v předmětu Virtuální instrumentace. Zajímala mě implementace skutečných požadavků měření v tomto jazyce ve spolupráci s připojeným hardwarovým zařízením a samozřejmě také výhody a nevýhody při porovnání s programováním v klasických, dnes především, objektově orientovaných jazycích.

Díky zvolenému tématu jsem se nemohl vyhnout částem práce, které zasahují do příbuzného studijního oboru elektrotechnika a byl jsem nucen si potřebné informace nastudovat, případně s vedoucím práce prokonzultovat.

V první části práce nejprve popíši měřicí jednotku Agilent 34980A a analyzuji možné hardwarové řešení stanoviště. Následně navrhnu a realizuji zkušební měřicí stanoviště a vytvořím příslušnou projektovou dokumentaci.

Stěžejní částí práce je analýza a zpracování jednotlivých požadovaných specializovaných měření a vytvoření aplikace splňující veškeré požadavky na automatizovaná měření s uživatelsky přívětivým ovládacím prostředím, vhodnou vizualizací měřených dat a prezentací výsledných naměřených a vypočítaných hodnot. Tato aplikace bude vytvořena v programovacím prostředí LabView.

Takto vytvořenou aplikaci nainstaluji na realizovaném zkušebním stanovišti a vytvořím pro ni uživatelský návod pro zaškolení obsluhy. Provedu zkušební měření k ověření všech požadovaných funkcí stanoviště.

Na závěr implementuji zjednodušenou verzi aplikace zaměřenou na komunikaci s měřicí jednotkou Agilent, nevyžadující knihovny LabView.

2 Popis jednotky Agilent 34980A a analýza možného hardwarového řešení stanoviště

Klíčovými hardwarovým zařízením této práce jsou měřicí jednotka Agilent 34980A, příslušné multifunkční karty a počítač, na kterém poběží výsledná aplikace.

2.1 Měřicí jednotka Agilent 34980A



Obrázek 1: Multifunkční jednotka Agilent 34980A

Měřicí jednotka 34980A je 8-slotový rám, do kterého se vkládají volitelné zásuvné moduly, které nabízejí široký rozsah funkcí. Jednotka obsahuje vestavěný 6 ½ místný digitální multimetr. Volitelně lze dokoupit až 19 různých zásuvných modulů, mezi které patří multiplexery, přepínače DC do 20GHz a dále např. čítač/totalizér, digitální vstupy a výstupy (I/O) a digitálně-analogové převodníky. Rychlost skenování je více než 500 kanálů za sekundu. Měřicí ústřednu lze snadno připojit k automatickým testovacím zařízením či systémům pro sběr dat pomocí LAN, USB nebo GPIB.

Jednotka obsahuje také vestavěné grafické webové rozhraní, které poskytuje vzdálený přístup a ovládání přístroje přes jakýkoliv webový prohlížeč podporující Java runtime. Pomocí tohoto rozhraní je možné provádět tyto činnosti:

- Prohlížet a upravovat nastavení přístroje
- Otevírat, zavírat a monitorovat přepínače
- Nastavit a zahajovat skenování kanálů
- Posílat SCPI příkazy
- Definovat a spouštět přepínací sekvence
- Zobrazovat chyby

- Získávat zprávy o počítadlech relé, revizí firmwaru a další

Interní digitální multimetr zabudovaný uvnitř rámu nevyužívá žádný z osmi uživatelsky dostupných slotů. Tím zvyšuje flexibilitu přístroje o 11 typů vstupů:

- Měření teploty pomocí termočlánků, RTD a termistorů
- AC a DC napětí a proud
- Dvou a čtyřvodičové měření odporu
- Frekvence a perioda

S jednotkou jsou dodávány ovladače IVI-COM, IVI-C a NI LabView. Ve stěžejní části práce budu využívat přímo ovladače NI LabView.

2.2 Zásuvné karty

Pro měření jsou k jednotce k dispozici 40-kanálový multiplexer Agilent 34921A s konektorovým blokem Agilent 34921T a multifunkční modul Agilent 34952A s konektorovým blokem Agilent 34952T.

2.2.1 40-kanálový multiplexer Agilent 34921A

40-kanálový multiplexer pro měřicí ústřednu 34980A je nejuniverzálnější multiplexer pro běžné vzorkování. Má malý tepelný offset a jako referenci pro měření teploty zabudovaný termočlánek na svorkovnicovém bloku, což je ideální pro přímé měření teploty. Vysoká rychlost přepínání kanálů (100 přepnutí za sekundu) je vhodná pro široký rozsah aplikací se sběrem dat. Další 4 kanály (44 celkem) pro přímé proudové měření až do 1A bez nutnosti používat externí bočník.

Parametry:

- 40 kanálů s 2–vodičovým připojením
- 300V, 1A při přepínání, 2A max.proud
- Vzorkování 100 kanálů/s
- Smíšené připojení 2–vodičové i 4–vodičové
- Zabudovaný referenční termočlánek (na svorkovnicovém bloku)
- 4 proudové kanály
- Paměťové relé s čítáním počtu přepnutí
- Standardní 50–pinové konektory Dsub

Příslušenstvím je konektorový blok Agilent 34921T, který slouží k připojení vstupů k modulu. Obsahuje také teplotní referenci a má šroubovací kontakty.

2.2.2 Multifunkční modul Agilent 34952A

Modul Agilent 34952A pro měřicí ústřednu 34980A má velkou variabilitu pro nejrůznější použití. V tomto modulu jsou čtyři 8-bitové kanály pro digitální vstup a výstup, 100 kHz čítač (totalizér) a dva $\pm 12V$ analogové výstupy, to vše se společnou zemí. Digitální vstupy a vstup totalizéru mohou být skenovány. Meze alarmů u digitálních vstupů a čítačových vstupů jsou neustále vyhodnocovány, snímání a ukládání alarmů je zajištěno i mezi dvěma vzorky.

Digitální vstupy jsou na TTL úrovni. Tyto kanály mohou být použity s externím napájením. Modul nemá komplexní mód na potvrzování zpráv (handshaking). Totalizér je možno použít k počítání událostí.

Analogové výstupy $\pm 12V$ nebo 10mA ss. mohou sloužit jako napěťové vstupy pro testované zařízení, jako zdroje na testování analogově programovatelných napájecích zdrojů, nebo jako zdroj žádaných hodnot pro řídicí obvody.

Standartní 50-pinové Dsub konektory jsou použitelné se standárními kabely, svorkovnicemi atd.

Parametry:

- 32 digitálních I/O bitů
- 100 kHz totalizér
- Dva $\pm 12V$ analogové výstupy s rozlišením 1 mV

Příslušenstvím je vstupní a výstupní svorkovnice Agilent 34952T, která se připojuje k modulu a má šroubovací kontakty.

2.3 Počítač

Pro současná měření pomocí PC aplikací na měřicích stanovištích, která nejsou pevně umístěná, což bude i případ mnou navrhovaného, je ideální možností použití notebooku.

Tímto notebookem bude Dell Latitude E6400 s operačním systémem Windows 7 Professional.

Krátce se zmíním o důležitých parametrech tohoto notebooku k mým měřením:

Notebook Dell Latitude E6400 disponuje dostatečným výkonem procesoru Intel Core 2 duo P8700 (3M Cache, 2.53 GHz, 1066 MHz FSB), operační paměť 4 MB DDR2, WXGA+ LED displejem o velikosti 14,1" s rozlišením 1280x800 bodů a profesionální grafickou kartou NVIDIA Quadro NVS 160M [4].

Notebook má mimo jiné tato rozhraní:

- USB 2.0
- Slot PCMCIA
- Slot ExpressCard
- Síťová karta LAN

Připojení jednotky Agilent 34980A s tímto notebookem lze tedy realizovat přímým propojovacím kabelem (A/B) v případě rozhraní USB 2.0 nebo kříženým UTP kabelem kat.5e v případě připojení přes síťovou LAN kartu. Rychlost přenosu dat je v těchto případech až 480 Mbit/s (USB 2.0) a až 100 Mbit/s (LAN). V případě potřeby je možné jednotku zapojit také do počítačové LAN sítě, jak izolované, tak místní. Velkou výhodou LAN připojení je možnost využití integrovaného grafického webového rozhraní.

Pokud jde o připojení přes GPIB rozhraní, společnost NI nabízí možnost použití rozhraní ExpressCard–GPIB, případně rozhraní USB 2.0–GPIB s přenosovou rychlostí až 7,7 Mb/s. Použít je možné také starší rozhraní rozhraní PCMCIA–GPIB s udávanou přenosovou rychlostí větší než 2,2 Mb/s, v tomto případě již ale není zaručena kompatibilita s operačním systémem Windows 7 [2].

Zvolený druh připojení je nutné nastavit ručně na předním panelu jednotky Agilent 34980A.

Toto nastavení se provádí pomocí tlačítka Utility a následné volby Remote I/O, kde již je výběr z možných druhů připojení a poté jejich konfigurace. Např. u volby LAN je to možnost volby – LAN SETTINGS, což umožňuje nastavení pevné IP adresy nebo použití automatického přiřazení adresy pomocí DHCP serveru.

Kompletní informace ohledně připojení jednotky jsou dostupné na webových stránkách výrobce [1].

3 Návrh a realizace zkušebního měřicího stanoviště včetně projektové dokumentace

V této části navrhnu a provedu realizaci měřicího stanoviště, kdy nejprve začnu návrhem potřebných vodičů a převodníků pro požadovaná měření, dále návrhem měřicího stolu s příslušenstvím a nakonec k tomuto zpracuji projektovou dokumentaci včetně obvodových schémat v programu EPLAN.

3.1 Měření veličiny, převodníky a vodiče

Jelikož mám k dispozici multiplexerovou kartu Agilent 34921A, která měří všechny základní elektrické veličiny, jako jsou napětí, proud, odpor, ale také třeba přímo teplotu pomocí termočlánků, použiji ji pro svá měření. V případě měření dalších veličin, použiji přednostně převodníky na napětí.

První měřenou veličinou je teplota. Dostatečný rozsah teplot pro požadovaná měření je od 0 do +150 °C. Pro měření teploty jsem vybral termočlánky typu T výrobce TC Ltd. s označením 12-T-150-118-3.0-2I-3P2L-400mm a 12-T-150-118-3.0-2I-3P4CTRL-400mm. Tyto termočlánky mají rozsah měření teplot od -200 do +350 °C.

Termočlánky využívají termoelektrického jevu, kdy dochází k přeměně teplotního gradientu přímo na elektrické napětí, jde řádově o μV na °C. Vždy jde o spojení dvou vodičů z různých materiálů, výsledné napětí je potom úměrné nikoliv teplotě, ale rozdílu teplot na koncích vodičů [5]. U termočlánků typu T jsou těmito vodiči měď a konstantan, což je slitina mědi a niklu v obvyklém poměru 55% mědi a 45% niklu.

Další měřenou veličinou je tlak. Veškerá požadovaná měření tlaku budou v jednotkách bar, což je vedlejší jednotka v soustavě SI. 1 bar odpovídá 10^5 Pa. Požadováno je měření jak tlaku absolutního, tak relativního. Bara, bar(a) je bar absolutního tlaku. Barg, bar(g) je bar relativního tlaku (přetlaku) vůči okolnímu atmosférickému tlaku, g znamená „gauge“ – měřicí sonda registrující přetlak [6].

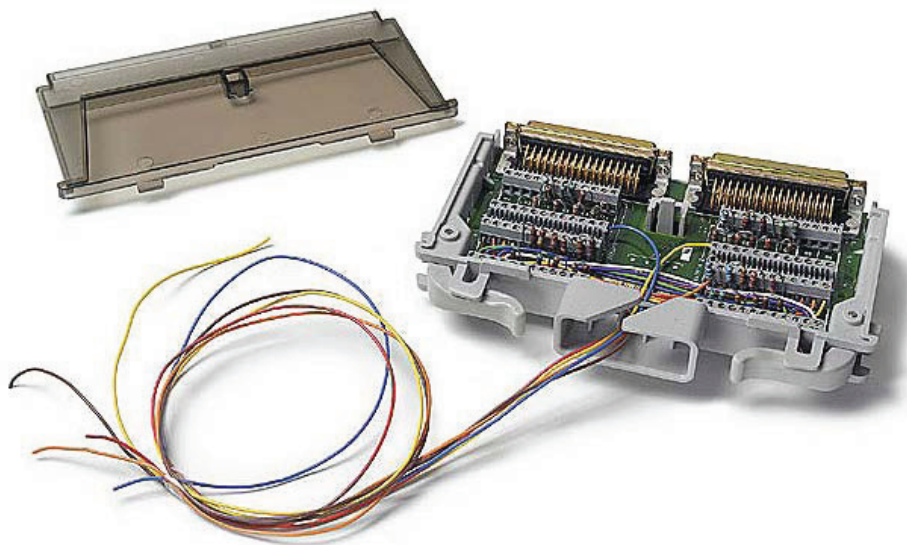
Dostatečný rozsah pro měření absolutního tlaku je od 0 do 1,5 bara a od 0 do 16 barg pro měření relativního tlaku.

Pro měření těchto tlaků jsem vybral tlakové převodníky Druck/Datacon s označením PDCR 130/W s napájecím napětím od 10 do 32 V (DC), které mají výstupní měřené napětí od 2,5 do 10 V (DC). Jde tedy o převod tlaku na stejnosměrné napětí. Tepelný rozsah těchto převodníků je od -40 do +80 °C. Celková chyba při teplotě od 0 do +50 °C je $\pm 0,5\%$, při teplotě od -20 do +80 °C potom $\pm 1,5$ °C.

Relativní vlhkost (vzduchu) se měří v procentech, rozsah je od 0 do 100%.

Pro měření vlhkosti jsem vybral snímač CometSystem HG010.65L. Tento snímač má napěťový výstup v rozsahu od 0 do 10 V (DC), což přímo lineárně odpovídá od 0 do 100% relativní vlhkosti. Napájecí napětí je od 15 do 30 V (DC) a přesnost $\pm 2,5\%$ relativní vlhkosti v rozsahu 5 až 95% při 23 °C.

K těmto jednotlivým čidlům jsou pro připojení do měřicího systému nutné vhodné vodiče pro přenos žádané veličiny měřeného signálu. Tyto jsou následně připojeny ke šroubovacím svorkám na konektorovém bloku Agilent 34921T.



Obrázek 2: Konektorový blok Agilent 34921A

Ke připojení převodníků tlaku a také snímači měření vlhkosti jsem navrhl stíněné vodiče UNITRONIC® 100 CY s počtem 4 žil a průřezu 0,25 mm².

Termočlánky TC Ltd. již připojovací vodiče obsahují, proto tyto použiji.

Pro měření napětí a odporu 4-vodičovou technikou jsem vybral stíněné vodiče UNITRONIC® 100 CY s počtem 4 žil a průřezu 0,34 mm². Odpor se bude měřit pomocí přepínání stykačů a relé přímo na svorkovnici motoru.

3.2 Měřicí stůl a příslušenství

Aby bylo možné na měřicím stanovišti provádět měření na kompresorech různých velikostí a na různých místech tohoto pracoviště, je vhodným řešením použití pojízdného měřicího stolu.

K tomuto účelu jsem vybral pojízdný měřicí stůl, který poskytuje dostatečný prostor k umístění měřicí jednotky Agilent 34980A a notebooku, včetně napájecí kabeláže a případných dalších periférií notebooku.

Tento stůl obsahuje:

- napájení 230V s jištěným prodlužovacím kabelem
- zdroj napájení tlakových převodníků a snímače relativní vlhkosti
- univerzální vstupy/výstupy z konektorů na stole vzadu zavedeny do konektorového bloku Agilentu
- konektory pro připojení termočláňkových vedení zapojené vzadu na stole a zavedeny do konektorového bloku Agilentu



Obrázek 3: Pojízdný stůl měřicího stanoviště s jednotkou Agilent

3.3 Projektová dokumentace

K vypracování projektu elektrických zapojení jsem použil studentskou verzi aplikace EPLAN (EPLAN Education).

Firma EPLAN engineering CZ s.r.o. jako kompletní poskytovatel software a řešení, vyvíjí a provádí integraci CAx řešení pro elektrotechniku, fluidní technologie, měření a regulace, mechaniku. Projekční řešení od specifických aplikací až ke komplexním procesům [10].

EPLAN Education je základní verze systému EPLAN Electric P8, kde jsou ukládaná data kódovaná tak, aby nebylo možné je zpracovat v komerční verzi EPLAN Electric P8 a slouží k vypracování laboratorních a závěrečných prací v oblasti elektrotechniky, hydrauliky, přístrojové a regulační techniky.

V příloze I je technická zpráva projektu měřicího stolu a v příloze II jsou obvodová schémata měřicího pultu pro napěťovou soustavu 1/N/PE AC 50Hz, 230V /TN-S.

4 Vytvoření aplikace

V této části práce se budu zabývat postupem a vypracováním aplikace ve vývojovém prostředí LabView. Nejprve shrnu základní požadavky na aplikaci, popíšu jednotlivá požadovaná měření, současný stav jejich měření a poté se již budu věnovat implementační části, kde krátce představím LabView, zanalyzuji požadavky, navrhnu implementaci a tu nakonec provedu.

4.1 Základní požadavky na aplikaci

Základní požadavky na aplikaci v programovacím prostředí LabView byly tyto:

- Aplikace poběží na notebooku s operačním systémem Windows 7, rozlišením obrazovky 1280 x 800 bodů a nainstalovanou aktuální runtime verzí LabView.
- Komunikace s měřicí jednotkou se předpokládá primárně přes USB port, případně LAN nebo GPIB.
- Aplikace bude obsahovat část jak pro univerzální měření, tak pro požadovaná specializovaná měření
- Konfigurace měření v aplikaci bude vždy možná jak ruční, tak i prostřednictvím konfiguračního souboru (INI), ruční konfiguraci bude možné uložit do konfiguračního souboru, v tomto budou všechny konfigurační, kalibrační a normalizační informace pro jednotlivé převodníky
- Výstupem každého měření bude vždy soubor, se kterým bude možné pracovat v Microsoft Excelu
- Každé měření bude možné zobrazovat také v grafu
- Aplikace bude v anglickém jazyce s možností přepnutí do češtiny a bude obsahovat jednoduchou autorizaci heslem (PINem)
- Konfigurace, měření i graf budou v rámci aplikace vždy zvlášť na obrazovkách
- Aplikace bude uživatelsky přívětivá a všechny ovládací a zobrazovací prvky jednoduše dostupné

Podrobněji se těmto a podrobnějším požadavkům budu věnovat v analýze požadavků.

4.2 Jednotlivá měření

Následuje metodika a popis jednotlivých požadovaných měření.

4.2.1 Univerzální měření

Univerzální měření předpokládá měření na 1 – 40 kanálech multiplexerové karty Agilent 34921A. Měřit se bude teplota pomocí termočlánků, odpor pomocí 4-vodičového zapojení a stejnosměrné

napětí. Dále bude možné měřit pomocí odporu a napětí další veličiny, především tlak, vlhkost a teplotu. Každý kanál bude možné nakonfigurovat, normalizovat a kalibrovat. U měření termočláanky bude možné nastavit jednotky Celsius/Fahrenheit, u ostatních hodnot by měla být možná ruční definice fyzikálních jednotek. Zároveň by mělo být možné u všech měřených kanálů uvést název a nastavit přesnost měření počtem desetinných míst u měřených hodnot.

4.2.2 Měření LAT/CTD

Při tomto specializovaném měření se měří teplota termočláneků v počtu 1 – 20 vždy jednoho typu a jedné fyzikální jednotky. Dostatečná přesnost je na jedno desetinné místo. Oba parametry (LAT a CTD) souvisí s chlazením a účinností chlazení kompresoru – jsou to velmi zjednodušeně ukazatele, primárně pro zákazníka. Měří se v tepelně ustáleném stavu stroje.

CTD (Cold Temperature Difference) – je rozdíl mezi teplotou stlačeného vzduchu na výstupu kompresoru (T_{ae}) a teplotou atmosférického nasávaného vzduchu (T_{amb}), což může být i aritmetický průměr více měřených teplot, jelikož se pro toto měření používá více termočláneků, které se umísťují maticově na mříž sání kompresoru z důvodu, že teplota na sání u opravdu velkých kompresorů většinou není homogenní. Vzorec je tedy:

$$CTD = T_{ae} - T_{amb} \quad (4.1)$$

LAT (Limited Ambient Temperature) – je parametr udávající účinnost chladiče oleje a tedy maximální teplotu okolí, za které bude tento chladič (a tedy stroj) fungovat. Teplota na výstupu je u mazaných kompresorů do 120 °C a u bezmazných do 300 °C. Vzorec pro výpočet je:

$$LAT = 101,7 - T_{ae} + T_{amb} . \quad (4.2)$$

Výsledná hodnota musí být větší než 46 °C.

4.2.3 Měření Flow

Výpočet Flow vychází z normy ISO 1217 a ISO 9300. Toto měření je založeno na kritické rychlosti tekutiny (vzduchu) při průchodu dýzou. Díky této konstantní rychlosti je možné na základě znalosti tlaku a teploty dopočítat průtočné množství. Kritická dýza ($k_1 - k_7$) je etalon s přesně definovaným vnitřním průměrem a jeho tvarem proudění vzdušiny tryskou za kritické rychlosti se dá měřením teploty a vytvořeného tlaku vzdušiny před tryskou vypočítat její hmotnostní průtok a objem. Prakticky to znamená, že potřebujeme znát: fyzický průměr trysky (d_{nozz}), teplotu (T_{nozz}), tlak před tryskou (P_{nozz}) a koeficient trysky (C_{nozz}). Koeficient trysky je svázán s danou tryskou (získá se měřením nebo výpočtem) a je to set koeficientů pro různé tlaky (nebo i pro různé teploty).

Kalkulace podle normy ISO 1217 je tato [11]:

$$P_{nozza} = P_{nozz} + P_{amb} , \text{ kde } P_{amb} \text{ je barometrický tlak} \quad (4.3)$$

$$T_{nozza} = T_{nozz} + 273,15 \quad (4.4)$$

$$T_{amba} = T_{amb} + 273,15 \quad (4.5)$$

$$T_{inleta} = T_{inlet} + 273,15 \quad (4.6)$$

$$q_m = 3180,15 \cdot C_{nozz} \cdot \left(\frac{d_{nozz}}{1000} \right)^2 \cdot \left(\frac{P_{nozz}}{\sqrt{T_{nozz}}} \right) \quad (4.7)$$

$$IT_{amb} = 1 - \frac{T_{amba}}{647,3} \quad (4.8)$$

$$IT_{inlet} = 1 - \frac{T_{inleta}}{647,3} \quad (4.9)$$

$$p_{vs}(T_{amb}) = 22120000 \cdot e^{\left(\left(\frac{k_1 \cdot IT_{amb} + k_2 \cdot IT_{amb}^2 + k_3 \cdot IT_{amb}^3 + k_4 \cdot IT_{amb}^4 + k_5 \cdot IT_{amb}^5}{(1 - IT_{amb})(1 + k_6 \cdot IT_{amb} + k_7 \cdot IT_{amb}^2)} \right) - \frac{IT_{amb}}{10^9 \cdot IT_{amb}^2 + 6} \right)} \quad (4.10)$$

$$p_{vs}(T_{inlet}) = 22120000 \cdot e^{\left(\left(\frac{k_1 \cdot IT_{inlet} + k_2 \cdot IT_{inlet}^2 + k_3 \cdot IT_{inlet}^3 + k_4 \cdot IT_{inlet}^4 + k_5 \cdot IT_{inlet}^5}{(1 - IT_{inlet})(1 + k_6 \cdot IT_{inlet} + k_7 \cdot IT_{inlet}^2)} \right) - \frac{IT_{inlet}}{10^9 \cdot IT_{inlet}^2 + 6} \right)} \quad (4.11)$$

$$\Psi_{inlet} = \Psi_{amb} \cdot \left(\frac{p_{vs}(T_{amb})}{p_{vs}(T_{inlet})} \right), \text{ kde } \Psi_{amb} \text{ je vlhkost okolí} \quad (4.12)$$

$$Q_{inlet} = \frac{q_m \cdot 287 \cdot T_{inlet}}{P_{amb} \cdot 10^5 - 0,378 \cdot \left(\frac{\Psi_{inlet}}{100} \right) \cdot p_{vs}(T_{inlet})} \cdot 60 \cdot f, \text{ kde } f \text{ je frekvenční faktor} \quad (4.13)$$

$$k_{13} = \frac{P_{amb} \cdot 10^5}{P_{amb} \cdot 10^5 - 0,378 \cdot \left(\frac{\Psi_{inlet}}{100} \right) \cdot p_{vs}(T_{inlet})} \quad (4.14)$$

Na základě této kalkulace lze nakonec vypočíst Flow $\left(\frac{m^3}{\min} \right)$:

$$Q_{inletk} = Q_{inlet} \cdot k_{13}, \quad (4.15)$$

odchylku Flow (%):

$$Q_{inletk} deviation = \frac{P_{vs}(T_{inlet}) - Q_{nom}}{Q_{nom} \cdot 100}, \text{ kde } Q_{nom} \text{ je nominální Flow,} \quad (4.16)$$

měrný výkon ($m^3 \min^{-1} kW^{-1}$):

$$P_{specific} = \frac{P_i}{Q_{inletk}}, \text{ kde } P_i \text{ je elektrický příkon} \quad (4.17)$$

a odchylku měrného výkonu (%):

$$P_{specific} deviation = \frac{P_{specnom} - P_{specific}}{P_{specnom} \cdot 100}, \text{ kde } P_{specnom} \text{ je nominální měrný výkon.} \quad (4.18)$$

Teplota se měří na jedno, tlaky na tři a vlhkost na jedno desetinné místo. Samotný výpočet se zaokrouhluje na tři desetinná místa.

4.2.4 Měření oteplení motoru

Měření oteplení motoru je dvojího druhu:

- **Přímé**

Přímé měření oteplení motoru je měření nějakým snímačem, nejčastěji termočlánkem, který už musí být zabudován ve vinutí a ložiscích motoru výrobcem. Před měřením se k těmto termočládkům připojí měřicí jednotka a měří se přímo teplota. Kromě absolutní hodnoty měřené teploty se vypočítá přímo i oteplení. Oteplení je rozdíl absolutní hodnoty teploty ve vinutí a teploty na sání stroje. Dělá se pro všechny 3 fáze motoru a tyto fáze se nakonec ještě zprůměrují.

- **Nepřímé**

Nepřímé měření oteplení motoru je měření, kdy nemáme k dispozici snímače v motoru od výrobce (je to drahé nebo už máme motor bez snímačů). To se potom děje z měřených hodnot odporu vinutí fází motoru a měřené okolní teploty (sání do stroje).

Vzorec pro výpočet oteplení, podle mezinárodního standardu EN 60034-1 (který je i českou normou [12]) je:

$$\Delta T = \frac{RM}{RI} (235 + TI) - (235 + TH), \quad (4.19)$$

kde RM je odpor na vinutí po vypnutí, RI – odpor na vinutí u studeného motoru, TI – teplota na sání u studeného motoru, TH – teplota na sání u horkého motoru a číslo 235 je konstanta upravená z hodnoty teplotního součinitele mědi.

Dále se odpor měří za tepla s periodou 1 sekundu po dobu 60 sekund, aby bylo možné vyapproximovat odpor vinutí přesně do doby zastavení motoru.

Postup je tento: Na začátku měření (za studena) se sejmou set hodnot (teploty a odpory). Spustí se stroj, po zahřátí na provozní teplotu (5-10 minut) se vypne (T0 je čas vypnutí stroje). V tu dobu se spustí stopky a časuje se do doby T1, kdy se stroj dotočí a jsou připevněny měřicí sondy, v tomto okamžiku se každou sekundu sejmou hodnoty odporu a teplot – měří se ochlazovací charakteristika, která se potom zpět proloží do bodu T0 a tím se získá odpor při vypnutí stroje, nezkreslená prodlevou způsobenou časem doběhu a instalací měřících sond. Oteplení se pak vypočte z hodnot měření na začátku (za studena) a hodnot získaných pro bod T0.

K samotnému výpočtu hodnot do ochlazovací charakteristiky, jelikož tato probíhá po exponenciální křivce, je možné použít upravený vztah z výpočtu hodnot oteplovací charakteristiky :

$$\Delta T = \Delta T_{MAX} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (4.20)$$

kde ΔT_{MAX} je teplota, kterou motor dosáhne za daný čas t vzhledem k oteplovací časové konstantě τ . Oteplovací časová konstanta τ je závislá na konstrukci a velikosti motoru [13].

Teploty se měří na jedno a odpor na 6 desetinných míst

4.3 Současný stav měření

V současné době byla měřicí jednotka Agilent k testování šroubových kompresorů používána velmi málo, jelikož kromě aplikace, která byla součástí mé předchozí bakalářské práce a která byla zaměřena hlavně na univerzální měření v omezeném rozsahu, nebyla k dispozici aplikace, která by obsahovala požadované druhy specializovaných měření.

Samotná společnost Agilent, jak jsem již uvedl v popisu jednotky, umožňuje používat integrované webové rozhraní, které lze použít ale pouze k přímému měření, nelze už například nanormovat jednotlivé kanály. Podobně lze jen přímo konfigurovat pomocí tlačítek a zobrazení na displeji samotnou měřicí jednotku. Podrobný popis ovládacích prvků jednotky je dostupný zde [3].

Specializovaná měření se tedy prováděla především ručním měřením a výpočty v Excelu.

4.4 LabView

K tvorbě aplikace bylo vybráno vývojové prostředí LabView a grafický programovací jazyk “G”. Studentskou verzi LabView ve verzi 2010 jsem měl také k dispozici při tvorbě aplikace.

4.4.1 Stručné seznámení s LabView

Grafické vývojové prostředí LabVIEW bylo poprvé představeno v roce 1986. LabVIEW zjednodušuje komplikované programování a nabízí uživatelům komfort pomocí funkce drag-and-drop, grafických funkčních bloků a propojení, které připomínají vývojové diagramy. LabVIEW umožňuje integraci s tisíci hardwarovými zařízeními, obsahuje stovky vestavěných knihoven pro pokročilou analýzu a vizualizaci dat a je škálovatelné napříč mnoha operačními systémy a cílovými platformami, jako jsou

procesory x86, operační systémy reálného času (RTOS) a FPGA. Grafické vývojové prostředí LabVIEW je s úspěchem užíváno širokým spektrem uživatelů po celém světě, od robotické stravebnice LEGO® MINDSTORMS® NXT až po urychlovač částic LHC v CERNu. Současná verze tohoto prostředí je LabView 2012.

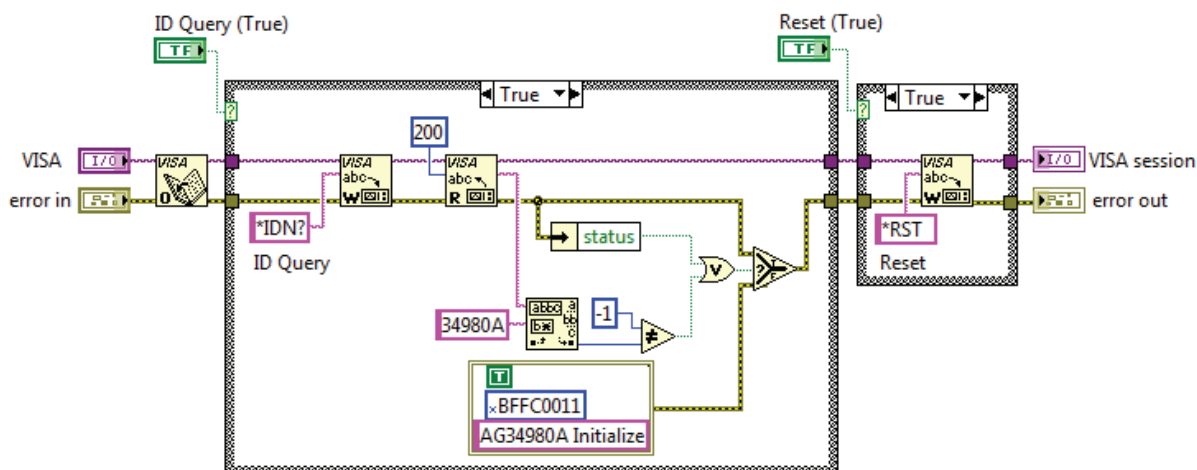
4.4.2 Základní popis prostředí LabView

Samotný program se skládá ze dvou návrhových zobrazení. První je tzv. Front panel (přední panel), tvoří uživatelské rozhraní zvolené aplikace a určuje její vzhled a chování. Obsahuje ovládací a indikační prvky, pomocí kterých lze řídit běh aplikace, zadávat parametry a získávat informace o zpracovaných výsledcích. Druhé zobrazení se jmenuje Block diagram (blokový diagram), který je zdrojovým kódem VI. Jsou zde umístěny všechny bloky – jde o vnitřní část virtuálního přístroje. Většina z nich se nezobrazuje na předním panelu.

4.4.3 Komunikace jednotky Agilent s LabView

Na webových stránkách společnosti Agilent [1] je ke stažení Agilent IO Libraries Suite, což je kolekce knihoven a programových utilit pro operační systémy Windows. IO knihovny (SICL, VISA, a VISA COM) umožňují jednotce komunikaci s různými vývojovými prostředími (Agilent VEE Pro, Microsoft Visual Studio, atd.), která jsou kompatibilní se standardy GPIB, USB, LAN, RS-232, PXI, AXIe a VXI. Několik programových utilit poté pomůže rychle a snadno připojit jednotku k počítači. Aktuální verze Agilent IO Libraries Suite je 16.3 a minimálně použitelná verze Windows jsou XP SP3.

Druhou důležitou, i když tentokrát ne zcela nezbytnou součástí pro programování v LabView jsou ovladače pro toto prostředí, které jsou opět dostupné na webových stránkách společnosti Agilent [1] nebo i na stránkách National Instruments [2]. Tyto ovladače odstiňují programátora od programování na té nejnižší úrovni, např. pomocí SCPI příkazů.



Obrázek 4: Inicializace Agilentu 34980A v LabView

4.5 Analýza požadavků na aplikaci

Co se týče systémových požadavků na operační systém a rozlišení, tak v prvním případě jsou použité LabView 2010 a současný Agilent IO Libraries Suite plně kompatibilní se systémem Windows 7. Aby aplikace bez problémů fungovala při rozlišení 1280x800 bodů je nutné ve vývojovém prostředí jakož i po kompilaci kódu toto vyzkoušet, zároveň je důležité zvolit optimální velikosti ovládacích a zobrazovacích prvků aplikace. Aktuální verze runtime LabView rovněž bez problémů pracuje s programovacím prostředím LabView 2010.

Komunikace jednotky Agilent a použitého notebooku je opět plně zajištěna Agilent IO Libraries Suite a je nezávislá na použitém druhu připojení, omezení je pouze v tom, jakým rozhraním disponuje notebook, případně v dostupné kabeláži. Preferované USB připojení vzhledem ke svému rozšíření, Plug & Play připojení a dostatečné přenosové rychlosti při měření, poskytuje navíc asi nejvhodnější druh komunikace s jednotkou.

LabView podobně jako jiné programovací jazyky poskytuje více možností jak aplikaci strukturovat, aby byla logicky a funkčně rozdělena do několika různých modulů, dle požadavku na různá oddělená měření. Podobně je možné zpracovat pro nastavení různých měření a jejich kalibrace a normalizace export do konfiguračních INI souborů, které bude možné zase opět načíst do aplikace a tak velmi rychle připravit aplikaci pro měření.

Jako výstup záznamu měření a výpočtů aplikace zobrazitelný a dále zpracovatelný v Excelu se jeví jako vhodný CSV formát souboru, který je zcela nezávislý na aktuální verzi Microsoft Excelu jako i dalších případných alternativních tabulkových procesorech.

Pro zobrazení měření v grafu poskytuje LabView několik grafických prvků, které lze upravit do požadované podoby, jak při zobrazení registračních indikátorů, tak jejich statických variant.

Změna jazyka, rozdělení jednotlivých obrazovek měření, uživatelsky přívětivé a pokud možno přehledné a intuitivní ovládání aplikace jsou všechno požadavky, které je samozřejmě možné v nové aplikaci splnit.

4.6 Návrh implementace

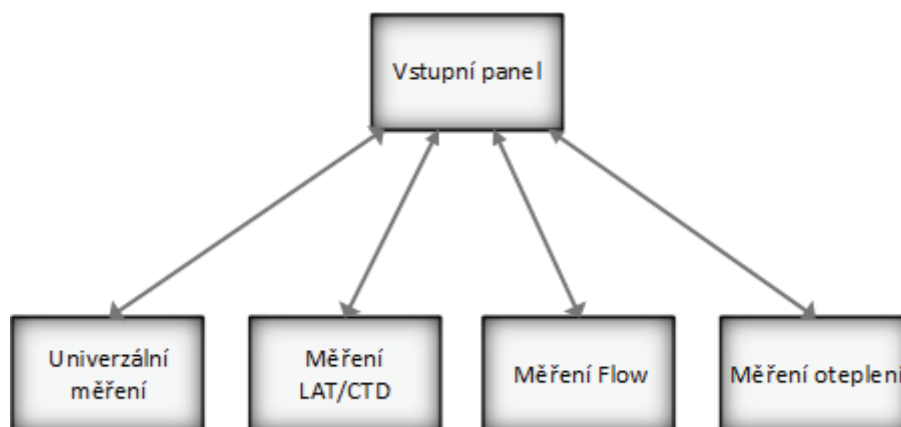
Na základě požadavku na modulární aplikaci, který vzešel z mé analýzy, jsem se rozhodl nejprve navrhnout jakýsi vstupní modul, kde budou pouze společná nastavení pro všechny další submoduly a na který se bude dát téměř kdykoliv opět vrátit při požadavku na další měření.

Tento modul musí tedy obsahovat spuštění ostatních submodulů a dále autorizaci, nastavení komunikace s jednotkou, změnu jazyka a vypnutí aplikace.

Ostatními submoduly jsou tyto:

- Univerzální měření
- Měření LAT/CTD
- Měření Flow
- Měření oteplení motoru (přímé / nepřímé)

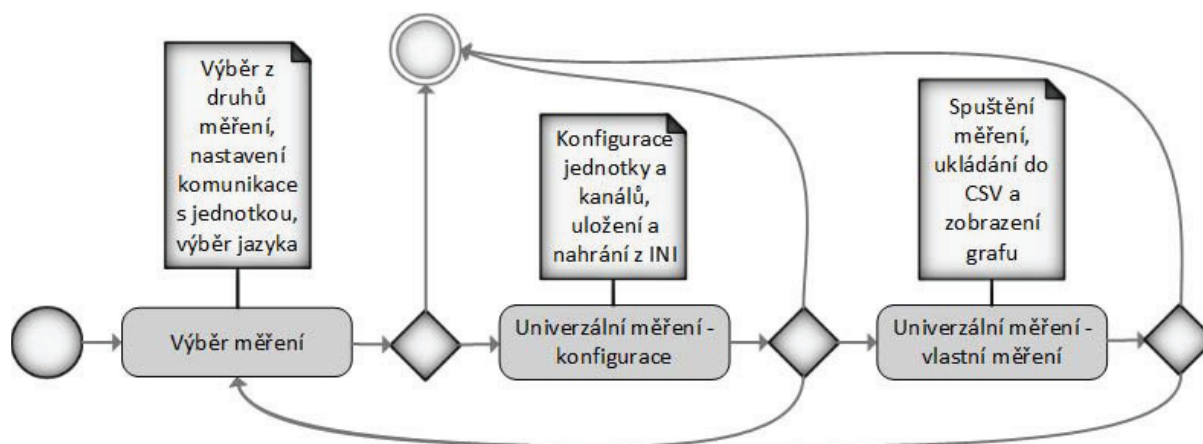
V základním diagramu tedy celá aplikace bude vypadat takto:



Obrázek 5: Základní diagram aplikace

Samozřejmě, pro lepší pochopení struktury navrhované implementace je třeba zvolit podrobnější rozdělení přímo na konkrétní funkční obrazovky a jejich aktivity. Základním prvkem je vždy vstupní

panel a pro přehlednější pohled jsem zvolil rozdělení do čtyřech diagramů aktivit, zvlášť pro každý submodul. Všechny diagramy jsou potom součástí přílohy na CD.



Obrázek 6: Diagram aktivit pro univerzální měření

Navíc u měření oteplení, na rozdíl od ostatních druhů měření, dochází po společné konfigurační obrazovce rozdělení na měření přímé a nepřímé.

Aby aplikace mohla fungovat v této logice, je nutné nastavit zobrazování a skrývání vstupního panelu při výběru a ukončení jednotlivých měření. Submoduly, tedy v tomto případě jednotlivé VI jednotlivých měření, je možné vždy úplně ukončovat a opětovně při výběru měření spouštět, aby tyto zbytečně nezabíraly paměť počítače a zároveň, aby tak vždy došlo k inicializaci a nastavení výchozích hodnot proměnných.

Důležitou otázkou pro funkčnost aplikace z hlediska dočasného ukládání a předávání dat ať už pro potřeby konfigurace, předávání více parametrů současně nebo i zpracovávání měření a jeho ukládání, je volba datové struktury. Pro tyto případy se mi jeví jako plně dostačující práce s datovou strukturou typu pole a to jak jednorozměrného, tak i dvourozměrného. Jedinou nevýhodou tohoto řešení je použití pouze jednoho datového typu v každém z nich. V některých případech, ve spojitosti se zobrazovacími prvky je vhodné využití také datového typu, který poskytuje LabView a to clusteru. Výhodou clusteru je sloučení hned několika různých datových typů do jednoho prvku. Přistupovat je možné jak k celému clusteru najednou, tak i k jednotlivým jeho prvkům.

Základní struktura jednotlivých konfiguračních INI souborů bude shodná pro všechny druhy měření, lišit se budou až v další rozšířené části. Zároveň budou tvořeny tak, aby byl každý uživatel, který se seznámí s jeho strukturami, které popíšu v příslušné části práce, tyto schopen editovat, případně vytvořit konfiguraci pro měření jen v tomto souboru. Do přílohy na CD potom uložím příklady INI souborů pro každé měření.

Nejdůležitějším výstupem aplikace má být strukturovaný soubor – tabulka s provedeným měřením, jeho popisem a případnými výpočty. U zvoleného CSV souboru jsem zvolil jako oddělovače vždy středníky, jelikož takto jsou pro všechny verze Excelu bezproblému automaticky importovatelnými a

okamžitě zpracovatelnými. Současně je to jeden z dohodnutých upřesňujících požadavků na tyto soubory.

Běh aplikace v LabView je řízen tokem dat (princip data flow), to znamená, že uzlový blok zahájí zpracování dat jakmile má na všech svých vstupech platná data a po zpracování je posílá na všechny své výstupy. Zároveň jednotlivé bloky mohou pracovat i současně. Tohoto principu využijí i ve své aplikaci. Navíc kvůli maximální přehlednosti toku dat použijí tzv. Flat sekvenci, což jsou jednotlivé sekvenční bloky skládané za sebou, do kterých je možné vkládat programový kód. Další možnosti jsou Stacked sekvence, které mají stejný princip, jen je nutné v nich pro zobrazení jednotlivých bloků „listovat“. Tuto sekvenci mohou využít například při zadávání počátečních hodnot proměnných u více prvků, protože kdybych na toto použil Flat sekvenci, neúměrně bych zvětšoval diagram kódu, což by zase naopak snižovalo přehlednost kódu.

Omezeně lze v LabView použít i Event strukturu, což je nekonečná smyčka, která vykonává činnosti na základě uživatelských událostí – typicky stisknutí tlačítka, zapsání hodnoty do textového pole apod. Omezení spočívá v tom, že ji nelze využít v jednom VI více než jednou. Ideální využití této struktury je v konfiguraci pro měření a proto ji v každém modulu využijí.

Pro složitější matematické výpočty je výhodné využít další strukturu a tou je Formula node. Kromě výpočtů je možné ji v omezené míře využít i pro zápis kódu, jelikož využívá syntaxi programovacího jazyka C/C++. Výhody Formula node využijí při těch výpočtech, kdy už by se výpočty na základě spojování prvků stávaly nepřehlednými.

Vše dále vysvětlím při vlastní implementaci v LabView.

4.7 Implementace v LabView

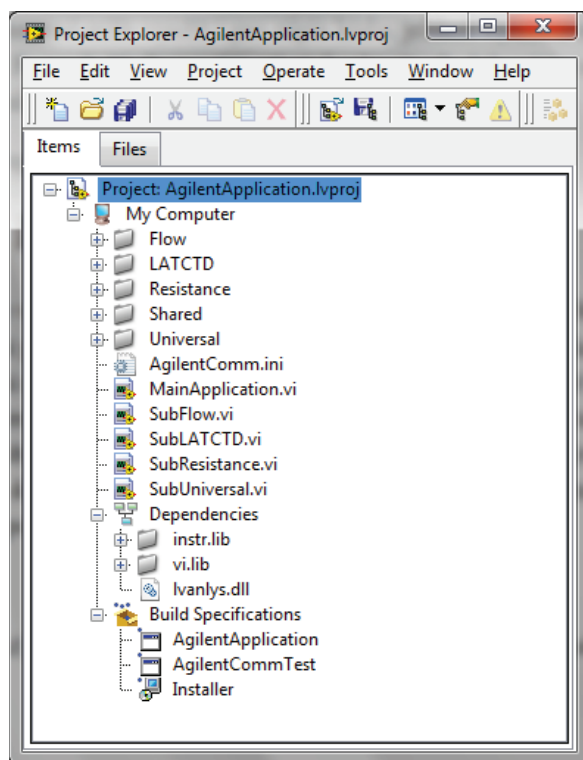
V tomto bodě již popíšu vlastní tvorbu měřicí aplikace, kdy existuje jeden vstupní modul, jeden univerzální měřicí modul a tři moduly pro speciální měření. Jelikož všechny mají velmi podobnou základní strukturu, budu vždy nejprve popisovat společné prvky.

4.7.1 Vstupní modul

Ve vývojovém prostředí LabView je velmi výhodné, podobně jako je to třeba v Microsoft Visual Studiu, začít budovat strukturu aplikace v jakémsi projektu, který obsahuje vše, co je potřebné pro tu konkrétní aplikaci. V LabView se tato základní struktura nazývá Project Explorer a obsahuje kromě všech VI, subVI a externích souborů aplikace, které lze logicky zařadit do pojmenovaných adresářů, také části nazvané Dependencies, kde jsou uloženy knihovny aplikace a Build Specifications, kde je možné vždy aktuální verzi aplikace zkompileovat do spustitelného (EXE) souboru. Ve stejné části je možné připravit kompletní instalaci aplikace včetně potřebného runtime LabView.

Prvním a základním modulem, jak už jsem zmínil v předchozí části návrhu, je vstupní modul, který jsem nazval MainApplication, dalšími submodule jsou potom VI nazvané SubUniversal, SubLATCTD, SubFlow a SubResistance. Všechny další subVI (podprogramy) jsou umístěny podle logického členění v jednotlivých adresářích projektu, podle toho jestli jsou určeny jen pro ten který

konkrétní modul nebo jsou použity ve více modulech (adresář Shared). Aby nevznikaly nejasnosti ohledně označování, co jsou ještě VI a co už subVI, tak VI budu nazývat vstupní modul a také ostatní hlavní moduly pro jednotlivá měření (i když jsou označeny SubUniversal atd.), subVI budou všechny ostatní podpůrné programy (umístěné v adresářích), které se spouští z těchto VI modulů.



Obrázek 7: Project Explorer a jeho struktura

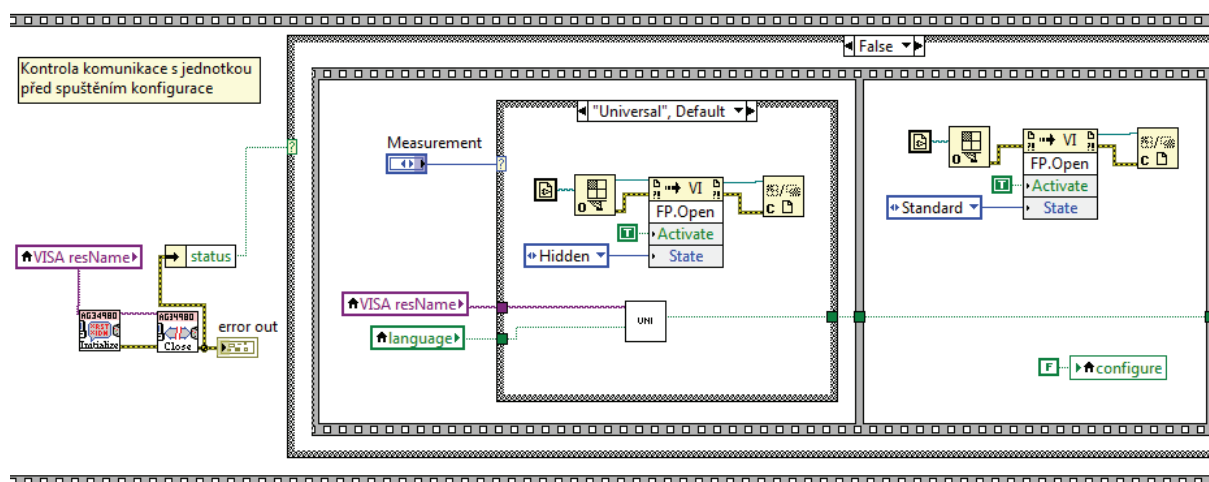
Vstupní panel `MainApplication.vi` ve svém blokovém diagramu obsahuje 3 základní Flat sekvence, kde v první je nastavení hodnot proměnných a také kontrola existence hlavního INI souboru v adresáři aplikace, kde se nachází uložená připojovací sekvence jednotky Agilent ve tvaru SCPI příkazu (např. `USB0::0x0957::0x0507::MY44001019::INSTR`). Pokud tento INI soubor neexistuje, aplikace si jej v tomto adresáři prázdný vytvoří.

Druhá Flat sekvence obsahuje smyčku `While`, která obsahuje část programu pro autorizaci, nastavení jazyka, komunikace s jednotkou, výběru měření a obsluhu dalších modulů.

Autorizační část je poměrně jednoduchá, vyžaduje zadání PINu, který je umístěn přímo v kódu aplikace. Bez autorizace lze v aplikaci pouze měnit jazyk nebo ji ukončit. Po třech neúspěšných pokusech se navíc aplikace sama ukončí. Jelikož nastavení jazyka mění jazyk za běhu tohoto vstupního modulu aplikace a mění popisy tlačítek, je umístěno v této smyčce. Změna probíhá přepínáním Case struktury, která mění vlastnost–text u jednotlivých tlačítek. Dalším důležitým úkolem tohoto přepnutí je volba parametru (`true/false`) pro všechny další moduly, kde proběhne nastavení jazyka už v úvodní Flat sekvenci spolu s inicializací a nastavením vstupních hodnot proměnných.

Při nastavování komunikace s jednotkou je možné buď použít uložené nastavení z INI souboru, vyplnit sekvenci ručně, případně jednoduše pomocí výběru v Dropdown menu tuto sekvenci vybrat (automaticky se načte z jednotky) a poté vyzkoušet. Tato sekvence se po ukončení testu uloží do INI souboru, v případě prázdného souboru se doplní i potřebné konfigurační parametry souboru. Zároveň se tak uloží druhý parametr, který se předává do všech dalších modulů.

Obsluhu dalších modulů předchází na předním panelu nastavený výběr měření (Radio button), dále ještě kontrola správné komunikace s jednotkou, kdy až po této kontrole je možné další pokračování a to skrytí vstupního panelu a spuštění konkrétního měřicího modulu. Po ukončení měření je díky takto zvolené struktuře se možné vrátit na vstupní modul, případně při výstupním parametru END – true, je program ukončen.



Obrázek 8: Blokový diagram - správa panelů vstupního modulu aplikace

Poslední Flat sekvence tohoto modulu obsahuje již jen ukončení aplikace.

4.7.2 Moduly měření

Jak již bylo výše uvedeno, modulů měření je několik, každý má svá specifika, ale všechny mají také své společné části.

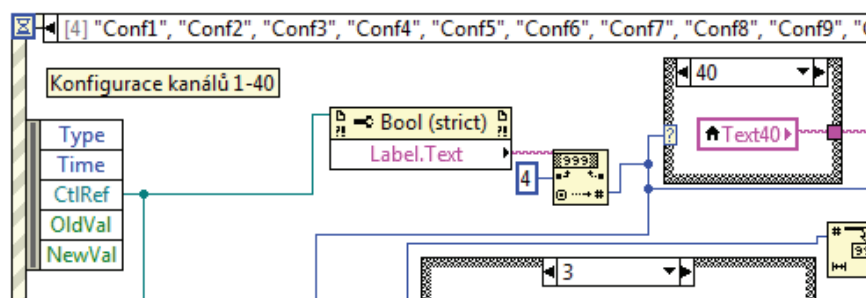
První touto částí je vždy inicializace proměnných a nastavení vstupních hodnot proměnných. V LabView je možné toto provést i v jednom kroku, kdy se do blokového schématu, případně na přední panel umístí konkrétní prvek a tomu se nastaví výchozí hodnota. Problém vznikne tehdy, když chci s konkrétním VI pracovat tak, aniž bych ho pokaždé ukončoval, protože výchozí hodnota se prvku přiřadí pouze při prvním spuštění VI. A toto by bylo hlavně ve fázi testování VI velmi nepraktické. Proto jsem ve většině případů u každého inicializovaného prvku nastavil zvlášť i jeho výchozí hodnotu, aby se nestalo, že by se mi při dalším testu někde objevila data z předchozího měření.

Podobně, na základě předaného parametru ze vstupního modulu určujícího jazyk, v této části dojde u většiny popsanych prvků předního panelu k vyplnění požadovaných hodnot. Aby nedocházelo k

neúměrnému zvětšování plochy blokového diagramu, používám k tomuto Stacked sekvence a hlavně v případě plnění polí také For loop smyčky.

Po fázi, kterou bych nazval jako inicializační, přichází fáze konfigurační. Zde bych nejprve trochu odbočil a popsal také přední panel. Jelikož v případě každého měřicího modulu jde v mé aplikaci o jedno základní VI, je užitečné použít v LabView přítomného kontejneru Tab kontrolu, který funguje obdobně jako v jiných programovacích jazycích. Jednotlivé záložky – tabs tohoto kontejneru mám rozdělené na obrazovku konfigurační, měřicí a grafovou. Jen v případě modulu měření oteplení je jedna společná konfigurační obrazovka a dále pro přímé i nepřímé měření obrazovky měřicí a grafové zvlášť. Přepínání obrazovek probíhá přepínáním záložek u tohoto kontejneru v odpovídajících částech blokového schématu. První z nich je nastaveno při přechodu na konfigurační část – okno Flat sekvence.

Veškerá konfigurace probíhá v rámci Event struktury, kde jsou nejprve definovány všechny možné události, které mohou v této fázi nastat a jež je třeba ošetřit. V případě, že potřebuji podobným způsobem přistupovat k událostem více prvků – například tlačítek předního panelu, definuji je do jednoho druhu události všechny a k ošetření události každého z nich přistupuji na základě referencí a Property nodů (uzlů vlastností). V mém případě používám vlastnost zvanou Label, což je pojmenování prvku. Pokud mám prvky pojmenovány tak, že jeho název je vždy stejný a liší se jen očíslováním, není problém v kódu přistoupit k požadovanému prvku.



Obrázek 9: Ukázka konfigurace kanálů v Event struktuře pro univerzální měření

Do Event struktury vždy přivádím konfigurační pole. Toto pole reflektuje vždy aktuální nastavení prvků předního panelu, to znamená, při spuštění modulu, kdy jsou prvky vynulovány, obsahuje i toto pole nulové stavy na příslušných indexech. Při každé jejich změně jsou hodnoty odpovídajícím způsobem upraveny také v konfiguračním poli. Při mnoha dalších činnostech modulu, dochází ke čtení tohoto pole a tím nastavení dalších prvků. Proto bylo důležité zajistit, aby za každé okolnosti mělo toto pole správné hodnoty.

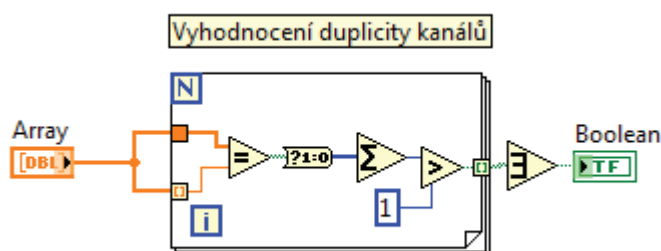
Hned první důležitou funkcí v rámci Event struktury, která maximálně využívá toto pole, je tvorba a čtení uživatelských konfiguračních INI souborů. Vytvoření INI souboru proběhne tak, že po stisku příslušného tlačítka předního panelu si uživatel zvolí název tohoto souboru, případně zvolí již existující soubor, který se přepíše, poté dochází zároveň k tvorbě struktury souboru a vyplňování dat. K tomuto slouží funkce Format Into File, která obsahuje referenci na soubor, přijímá hodnoty různých datových typů a díky odpovídajícím způsobem zapsanému format stringu je zase zapisuje

jako text do souboru. Nejprve je to vždy název hlavní sekce, tu označuji jako [Main] a vypňuji v ní pomocí klíčů název druhu měření, jméno - kdo měří, číslo slotu, ve kterém je příslušná měřicí karta, případně podle druhu měření i další informace. Název druhu měření, pokud odhlédnu od toho, že poskytuje informaci i uživateli aplikace, který edituje INI soubory, je důležitá pro rozpoznání INI souboru aplikací. Ta nedovolí, při čtení konfigu, načtení jiného INI souboru, než toho, který je pro konkrétní měření uveden. Druhá, případně další sekce jsou volitelné podle druhu měření a poskytují klíče pro všechny potřebné konfigurační, kalibrační a normalizační hodnoty.

Čtení INI souborů je v aplikaci o něco komplikovanější, kromě toho, že upravuje konfigurační pole, musí také nastavit všechny ovládací prvky do nakonfigurovaného tvaru, jelikož aplikace umožňuje takto načtenou konfiguraci z INI souboru dále ručně upravovat. Velkou výhodou v LabView je, že obsahuje funkce, které přímo pracují se sekcemi a klíči vytvořenými v INI souborech a umí k nim přistupovat nesequenčně. Takto lze jednoduše pomocí funkcí obsažených v Configuration File VIs, načítat potřebná data do struktur aplikace.

Moduly všech měření poskytují na konfigurační obrazovce také možnost uživateli vyresetovat stav všech provedených nastavení, prakticky se většinou použijí subprogramy, které jsem vytvořil už pro inicializační část – dojde k vynulování konfiguračního pole a přepnutí ovládacích prvků na výchozí hodnoty.

Konfigurace je ukončena při události vyvolané stisknutím tlačítka Measure – měřit. V této části jsem se snažil ošetřit nepříznivé situace pro práci aplikace, což je hlavně to, pokud není vybrán žádný kanál, případně jsou vybrány 2 nebo více stejných kanálů pro různá měření. Pokud jsou všechny zvolené podmínky pro měření splněny, Event struktura běžící ve While loop smyčce je ukončena a aplikace přechází v další Flat sekvenci do fáze zpracování konfiguračních informací.

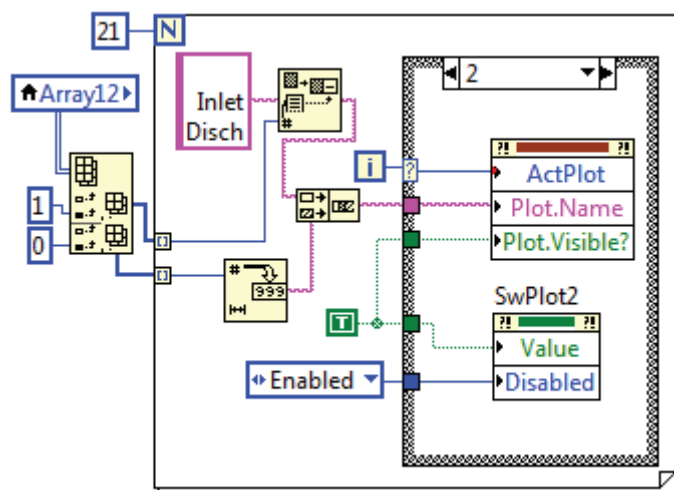


Obrázek 10: SubVI - vyhodnocení duplicity kanálů při měření oteplení motoru

V této fázi ve všech měřicích modulech dochází teprve k inicializaci jednotky Agilent – funkcí AG34980A Initialize, kdy tato je nejprve vyresetována, aby byly vymazány veškeré případné nastavení z předchozích měření a až poté je nejprve pomocí funkce AG34980A Configure Scan nahrán seznam použitých kanálů. Tato funkce přijímá seznam ve tvaru stringu s čísly kanálů doplněného o číslo slotu, ve kterém je zasunuta měřicí karta. Např. pokud je měřicí karta zasunuta ve slotu 1 a vybraný kanál má číslo 5, přijímané označení je 1005. Jednotlivá tato čísla označení musí být oddělena čárkami. Pro tento účel jsem vybudoval mechanismy, kdy většinou jde o For loop smyčky s

Poté, co je jednotce Agilent známo, které kanály budou použity k měření a jelikož použitá zásuvná měřicí karta je multifunkční, je nutné také zvolit, co se bude měřit. Tyto informace zprostředkovávají jednotce další funkce s označením AG34980A Configure, které jsou již ale specializované pro různé druhy měření a je třeba vždy použít tu správnou. Např. při konfiguraci termočlánku je třeba použít funkci AG34980A Configure Thermocouple. Tato potom požaduje jeden povinný parametr Channel list, kde se uvede jeden nebo více kanálů (ve stejném tvaru jako u Configure scan), které budou měřit termočlánky a budou jedním způsobem nakonfigurovány. Nepovinnými parametry, které je možné této funkci předat, jsou hlavně jednotka měření a typ termočlánku. Pokud se tyto parametry funkci nepředají, jsou použity vždy defaultní hodnoty.

Když už je veškerá konfigurace takto předána jednotce, je možné začít měřit. V mé aplikaci tomuto ale ještě musí předcházet některé důležité kroky. V první řadě dojde změnou hodnoty dané kontejneru Tab k přepnutí na měřicí obrazovku. Dále je nutné zvolit název a umístění výstupního CSV souboru měření, případně použít předvyplněný název a cestu. V některých modulech jsou v tuto chvíli také vytvořeny popisky ke grafu (pokud nejsou pevně dány), aby bylo možné pomocí uživatelsky zadaných názvů kanálu identifikovat měření v grafu a toto případně v grafu vypnout, zapnout nebo změnit barvu průběhu.



Opět trochu odbočím, při implementaci zápisu do CSV souborů jsem zvažoval, zda zapisovat požadované měřené a vypočtené hodnoty do souboru kontinuálně nebo je ukládat v paměti a do

souboru uložit až po ukončení měření. Jelikož perioda mezi jednotlivými měřeními prakticky nejde pod jednu sekundu, což poskytuje aplikaci více než dostatečný čas pro zpracování aktuálně měřených hodnot a zároveň není problém v této periodě i zapisovat do souboru (i bez použitého paralelismu), zvolil jsem nakonec kontinuální zápis. Důležitým aspektem při výběru bylo i to, že při případném pádu aplikace nebo operačního systému počítače, budou do té doby zapsaná data již uložena v souboru. Jedinou výjimkou bude ukládání do souboru v případě nepřímého měření oteplení, kdy budou měřená data zapisována kontinuálně, vypočtená aproximace měření, ale uložena až po jeho ukončení.

Základem vlastního měření, které běží ve vlastní While loop smyčce je funkce AG34980A Read ovladače Agilentu, která poskytuje podle požadované periody pole měřených dat buď jako pole stringů nebo jako pole hodnot typu double. Protože znám pořadí, čísla použitých kanálů a na nich měřené veličiny, mohu s tímto polem okamžitě pracovat, normovat jednotlivé hodnoty a provádět s těmito hodnotami další případné výpočty. Ukončení měření potom probíhá buď ručně nebo při některých měřeních vypršením stanovené doby měření.

Poslední použitou obrazovkou každého mého měřicího modulu je obrazovka grafu. Přepnout na graf lze jak během měření (kromě nepřímého měření oteplení), tak i po ukončení měření. Hodnoty jsou přenášeny do registračního grafu (Waveform chart) jako cluster hodnot, kdy je možné s výhodou použít funkce Array To Cluster, která jednorozměrné pole ve stejném pořadí jako jsou v tomto poli do grafu přenesou. Graf sám obsahuje mnoho nastavení, které lze během měření i po něm v grafu uživatelsky měnit. Uživatel si třeba může kdykoliv hodnoty z grafu vymazat, přibližovat, posunovat, měnit barvu a šířku čar.

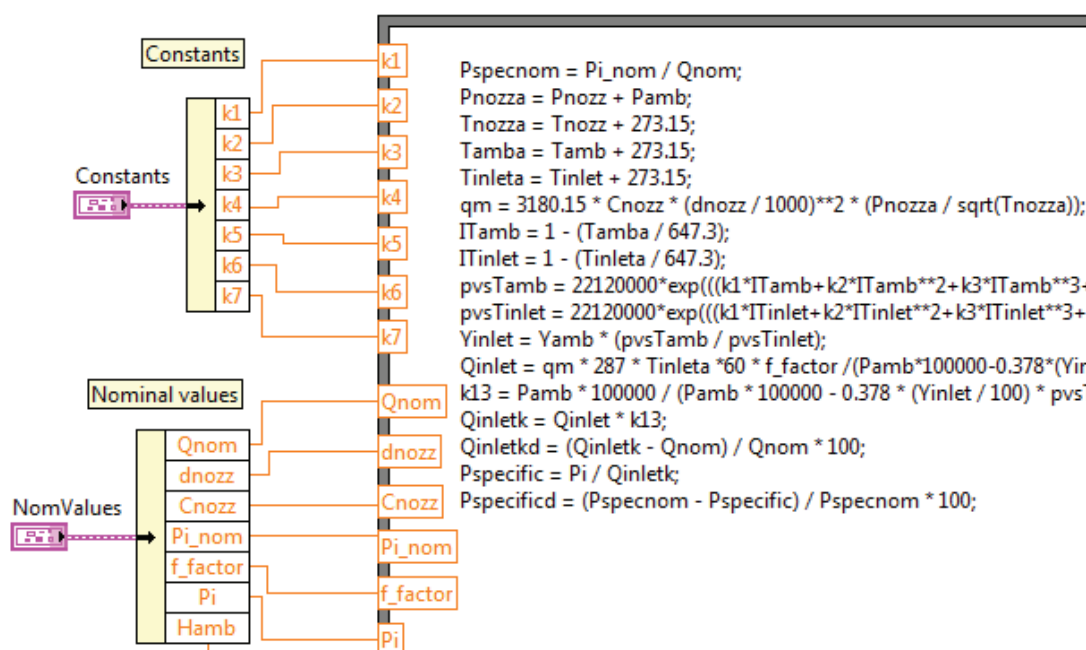
Po ukončení měření se ukončí While loop smyčka s funkcí AG34980A Read, včetně pomocné paralelní smyčky, která slouží pro obsluhu přepínání na graf a zobrazování vybraných kanálů v grafu. Poté dojde k přechodu modulu do předposlední Flat sekvence. Tam se ukončí komunikace s jednotkou Agilent funkcí AG34980A Close a také k uzavření CSV souboru. V poslední Flat sekvenci už jen dojde k předání výstupního boolean parametru měřicího modulu do vstupního modulu, což je požadavek na úplné ukončení aplikace.

A teď již k odlišnostem u jednotlivých modulů. Modul pro univerzální měření je jediný, který obsahuje konfigurační pole dvourozměrné, což vyplývá z jeho univerzálnosti. Na kterémkoliv kanále multiplexerové karty je možné měřit jak napětí, tak odpor i termočlánky. Navíc u napětí a odporu, kromě nastavení jako je rozsah a resolution je tyto možné i nanormovat, čili nastavit u nich i ofset a konstantu. Takže pro každý kanál potřebuji mít jednorozměrné pole hodnot. Tyto hodnoty mohou nabývat jak textových, tak i číselných hodnot, tudíž jsem využil datového typu string, ze kterého mohu vždy tyto hodnoty pomocí funkcí LabView opět převést na číselné hodnoty typu int nebo double. Jelikož je ale kanálů multiplexeru 40, pole takto nabývá druhého rozměru.

Už jsem zmínil normování kanálů, toto neprovádí jednotka Agilent, ale sama aplikace. Jelikož jde výpočty pro ofset a konstantu provádět až na měřené hodnotě, tyto se provádí v měřicí části aplikace za pomoci jednoduchého subVI s názvem SharedOffsetGain.vi. Týká se to univerzálního měření, ale také měření Flow, kde se takto měří tlak.

Modul specializovaného měření LAT/CTD je svým způsobem nejjednodušší, protože se v něm měří jen pomocí termočlánků jednoho typu a zvolený měřicí kanál může nabývat jen dvou hodnot a to Inlet - termočlánek na vstupu do kompresoru, těchto může být až 20 a Discharge – termočlánek na výstupu z kompresoru. Měřené hodnoty Inlet jsou při měření zobrazeny v tabulce s označením kanálů, hodnota Discharge a výpočty LAT a CTD jsou uvedeny ve zvláštních indikátorech. Součástí vyhodnocování měření jsou i v konfiguraci zadané alarmové hodnoty. Výsledek vyhodnocení těchto alarmů se ukládá do výstupního CSV souboru.

V modulu pro měření Flow se používají kombinace měřených hodnot, neměřených nominálních hodnot a také 7 konstant, proto jsem ve větší míře použil datový typ cluster, který dokáže i na předním panelu aplikace zprehlednit celou tuto situaci. Jelikož výpočet tohoto měření, který probíhá kontinuálně, je dost složitý, použil jsem k němu strukturu Formula node, jak je vidět na obrázku 12.



Obrázek 12: Část subVI s výpočtem u měření Flow

Svou logikou nejpropracovanější je modul pro měření oteplení motoru, jednak proto, že po konfigurační části se tento dále větví, ale také proto, že jedna z těchto větví – nepřímé měření, využívá dvojí spuštění a ukončení měření a také dopočet po ukončení druhého měření. I v tomto případě jsem mohl využít základní struktury svých měřících modulů, kdy jsem doplnil poslední tři Flat sekvence modulu nejprve o nové Case struktury, do kterých jsem měření rozdělil a u takto odděleného nepřímého měření jsem umístil logiku tohoto měření do těch třech posledních Flat sekvencí. Toto dělení jsem mohl učinit, jelikož jde vždy o sekvenční postup (popsaný u metodiky a popisu tohoto měření). Ve Flat sekvenci modulu, předcházející hlavnímu měření (u jiných modulů ji využívám především k nastavení popisů grafu a přípravě výstupního CSV souboru), jsem doplnil onu logiku, kdy dojde k sejmutí hodnot kompresoru za studena, uložení časových značek a počítání času do připojení měření na svorky stykače vinutí motoru. Po spuštění hlavní části měření dojde k přechodu na

následující Flat sekvenci, kde toto probíhá a jsou průběžně zapisovány měřené hodnoty do souboru a také po provedení výpočtů tato ukládána do dvourozměrného pole. Po samotném ukončení měření proběhne finální výpočet z dat tohoto pole a také z jednotlivých časových značek sejmутých v průběhu fází měření. Je doplněn CSV soubor o tato data a zároveň je možné si prohlédnout finální graf.

Hotová spustitelná aplikace, stejně jako kompletní Project, obsahující všechny VI a subVI, jsou součástí přílohy na CD.

5 Instalace aplikace, vytvoření uživatelského návodu a zkušební měření

Tento bod je zaměřen na popis praktického zprovoznění a testování aplikace při měření na zkušebním pracovišti.

5.1 Instalace aplikace na zkušebním pracovišti

Před samotnou instalací aplikace na měřícím pracovišti jsem v Project Exploreru v LabView vygeneroval produkční verzi aplikace s názvem AgilentApplication. Vygenerován byl spustitelný soubor AgilentApplication.exe, soubor AgilentApplication.aliases, dále soubor AgilentApplication.ini, který obsahuje uloženou konfiguraci jednotky a potom v adresáři data uložený modul lvanlys.dll, který používá LabView aplikace k volání specifických matematických knihoven jádra. Tyto soubory jsem nahrál na zkušebním pracovišti umístěný NB Dell Latitude E6400 s operačním systémem Windows 7 s již instalovaným aktuálním runtime LabView. Po spuštění AgilentApplication.exe jsem ve vstupním modulu aplikace úspěšně otestoval komunikaci s jednotkou Agilent přes USB připojení.



Obrázek 13: Zkušební měřící pracoviště

5.2 Uživatelský návod pro zaškolení obsluhy

I když jsem se snažil, aby mnou vytvořená aplikace byla maximálně přehledná a logicky uspořádaná, je mi jasné, že každý uživatel se v ní hned nebude orientovat. Zároveň aplikace vyžaduje v určitých chvílích při ovládání některé postupné kroky, které je třeba pro správnou funkčnost aplikace vždy provést. První a pro uživatele vždy nejlepší možností je jeho osobní zaškolení. Jelikož ale takové zaškolení není vždy možné a také je občas třeba si při delším nevyužívání aplikace, některé věci připomenout, vyvstal požadavek na vytvoření uživatelského návodu, dostatečně popisujícího funkce a ovládání aplikace.

Takový uživatelský návod jsem vytvořil a celé jeho znění je dostupné v příloze III.

Na tomto místě bych alespoň více popsal strukturu konfiguračních INI souborů pro jednotlivá měření. Jde o záležitost, která běžnou obsluhu nemusí zajímat, jelikož tato bude i takto schopna s konfiguračními soubory pracovat tak, že si je bude nechávat samotnou aplikací generovat a bude schopna je jen na základě uživatelského pojmenování INI souborů dále využívat. Takže editace vlastních INI souborů by vlastně mohla být takovou rozšířenou částí uživatelské příručky.

Jak jsem již zmínil v implementační části, tak je každý INI soubor mé aplikace složen ze sekcí a klíčů, což je také formát, který podporuje přímo LabView. Takovýto soubor vždy obsahuje jednu sekci hlavní [Main] a jednu nebo více sekcí dalších.

U univerzálního měření existuje tedy sekce [Main] a sekce [Channels], kde už jsou konkrétní nastavení pro jednotlivé použité kanály měření. Následuje popis ukázkového INI:

[Main] Sekce Main

Measure=Universal Typ měření, v tomto případě univerzální (při jiných měřeních LAT/CTD, Flow nebo Resistance)

Measured=Operator1 Jméno obsluhy

Timer=1 Časovač v celých sekundách, v případě 0 časovač není použit

Period=1,0 Perioda měření v sekundách s přesností na desetinu sekundy

Slot34921A=1 Slot, ve kterém je měřicí karta 34921A

Slot34952A=2 Slot, ve kterém je měřicí karta 34952A

[Channels] Sekce Channels

Ch1_text=Atmospherics press Název kanálu (v klíči je vždy číslo kanálu)

Ch1_type=1 Typ měření na kanálu, 1=měření napětí, 2=měření odporu, 3=měření termočlánkem

Ch1_DC_Unit=bara Fyzikální jednotka

Ch1_DC_Offset=0,000 Zadaný offset, jinak 0

Ch1_DC_Gain=0,232 Zadaná konstanta, jinak 1

Ch1_DC_Res=5 Nastavuje se resolution, 0=4 1/2, 1=5 1/2, 2=6 1/2, 3=Least, 4=Highest, 5=Default

Ch37_text=Winding Resistance [Název kanálu](#)

Ch37_type=2 [Typ měření na kanálu](#), 1=měření napětí, 2=měření odporu, 3=měření termočlánkem

Ch37_Ohm_Unit=Ohm [Fyzikální jednotka](#)

Ch37_Ohm_Offset=0,000 [Zadaný offset](#), jinak 0

Ch37_Ohm_Gain=0,000 [Zadaná konstanta](#), jinak 1

Ch37_Ohm_Res=5 [Nastavuje se resolution](#), 0=4 ½, 1=5½, 2=6½, 3=Least, 4=Highest, 5=Default

Ch37_Ohm_OffComp=0 [Nastavuje se Offset Comp](#), 0=Off, 1=On

Ch40_text=Ambient [Název kanálu](#)

Ch40_type=3 [Typ měření na kanálu](#), 1=měření napětí, 2=měření odporu, 3=měření termočlánkem

Ch40_Temp_Units=0 [Fyzikální jednotka](#), 0=Celcius, 1=Fahrenheit, 2=Kelvin

Ch40_Temp_Type=7 [Typ termočlánku](#), 0=B,1=E,2=J,3=K,4=N,5=R,6=S,7=T

V konfiguračním INI u měření LAT/CTD se navíc v sekci [Main] nastavuje společný typ termočlánku a také alarmy:

ThermoCouple=7 [Typ termočlánku](#), 0=B,1=E,2=J,3=K,4=N,5=R,6=S,7=T

AlarmInlet=20,0 [Alarm pro teplotu okolí ve °C](#)

AlarmCTD=20,0 [Alarm pro hodnotu CTD ve °C](#)

AlarmLAT=95,0 [Alarm pro hodnotu LAT ve °C](#)

AlarmA/E=100,0 [Alarm pro výstupní teplotu ve °C](#)

Následuje sekce [Channels], kde je uvedeno číslo použitého kanálu a typ měření:

[Channels] [Sekce Channels](#)

Ch6=Inlet [Měření teploty na vstupu na kanálu 6](#)

Ch7=Inlet [Měření teploty na vstupu na kanálu 7](#)

Ch9=Inlet [Měření teploty na vstupu na kanálu 9](#)

Ch10=Disch [Měření výstupní teploty na kanálu 10](#)

Konfigurační INI pro měření Flow má v sekci [Main] jen základní strukturu, ale dále má 3 struktury konfigurační: [Constants], [Nominal], [Configure]

[Constants] [Sekce Constants](#)

k1=-7,69123460 [Hodnota konstanty 1](#)

k2=-26,08023700 [Hodnota konstanty 2](#)

k3=-168,17065000 [Hodnota konstanty 3](#)

k4=64,232855 Hodnota konstanty 4

k5=-118,96462 Hodnota konstanty 5

k6=4,16711732 Hodnota konstanty 6

k7=20,9750676 Hodnota konstanty 7

[Nominal] [Sekce Nominal](#)

Qnom=35,5 Nominální Flow (m3/min)

dnozz=31,78 Velikost trysky (mm)

Cnozz=0,99331 Koefficient trysky

Pi_nom=304 Nominální elektrický příkon (kW)

Pi=289,3 Elektrický příkon (kW)

f_factor=1 Frekvenční faktor

Hamb=59,1 Vlhkost prostředí (%)

[Configure] [Sekce Configure](#)

Tamb-ch=6 Teplota okolí – číslo kanálu

Tinlet-ch=8 Teplota filtru – číslo kanálu

Tnozz-ch=1 Teplota trysky – číslo kanálu

Pamb-ch=2 Barometrický tlak – číslo kanálu

Pnozz-ch=3 Tlak trysky – číslo kanálu

Tamb-t=7 Teplota okolí – typ termočlánku, 0=B,1=E,2=J,3=K,4=N,5=R,6=S,7=T

Tinlet-t=7 Teplota filtru – typ termočlánku, 0=B,1=E,2=J,3=K,4=N,5=R,6=S,7=T

Tnozz-t=7 Teplota trysky – typ termočlánku, 0=B,1=E,2=J,3=K,4=N,5=R,6=S,7=T

Pamb-o=0 Barometrický tlak – hodnota offsetu (jinak 0)

Pnozz-o=0 Tlak trysky – hodnota offsetu (jinak 0)

Pamb-g=1 Barometrický tlak – hodnota konstanty (jinak 1)

Pnozz-g=1 Tlak trysky – hodnota konstanty (jinak 1)

Pamb-r=5 Barometrický tlak - resolution, 0=4 ½, 1=5½, 2=6½, 3=Least, 4=Highest, 5=Default

Pnozz-r=5 Tlak trysky - resolution, 0=4 ½, 1=5½, 2=6½, 3=Least, 4=Highest, 5=Default

Konfigurační INI pro měření oteplení už je zase poměrně jednoduché. V sekci [Main] jsou navíc uvedeny klíče:

4WResolution=5 Resolution pro odpor, 0=4 ½, 1=5½, 2=6½, 3=Least, 4=Highest, 5=Default

Thermocouple=7 Typ termočládku, 0=B,1=E,2=J,3=K,4=N,5=R,6=S,7=T

A podle toho, zda je konfigurace pro přímé nebo nepřímé měření je v souboru zapsaná sekce [Channels-Direct] nebo [Channels-Indirect]. Klíče těchto sekcí potom vypadají takto:

[Channels-Direct] Sekce Direct (přímé měření)

DTamb=1 Teplota sání do stroje – číslo kanálu

DTinlet=2 Teplota sání do motoru – číslo kanálu

DTBear1=3 Teplota – ložiska 1 – číslo kanálu

DTBear2=4 Teplota – ložiska 2 – číslo kanálu

DTWind1=5 Teplota – motor 1 – číslo kanálu

DTWind2=6 Teplota – motor 2 – číslo kanálu

DTWind3=7 Teplota – motor 3 – číslo kanálu

DTWind4=11 Teplota – motor 4 – číslo kanálu (pokud se používá)

DTWind5=14 Teplota – motor 5 – číslo kanálu (pokud se používá)

DTWind6=16 Teplota – motor 6 – číslo kanálu (pokud se používá)

[Channels-Indirect] Sekce Indirect (nepřímé měření)

ITamb=6 Teplota sání do stroje – číslo kanálu

ITinlet=9 Teplota sání do motoru – číslo kanálu

IRWind1=1 Odpor na vinutí motoru 1 – číslo kanálu

IRWind2=2 Odpor na vinutí motoru 2 – číslo kanálu

IRWind3=3 Odpor na vinutí motoru 3 – číslo kanálu

5.3 Zkušební měření

Ve výrobním závodě firmy Ingersoll-Rand Czech Republic s.r.o. v Uničově, na měřicím stanovišti, jsem provedl dne 5.4.2013 následující měření:

5.3.1 Zkušební univerzální měření

Prvním měřením bylo univerzální měření, což je vlastně jen dataloggerové měření bez dalších výpočtů. Použity byly 2 termočládky typu T zapojeny do ochlazovače oleje (Oil cooler out, Oil cooler in), dále termočlánek typu T na měření teploty okolí (Ambient temperature), tlakový převodník k měření atmosférického tlaku (Atmospherics press) a převodník na měření vlhkosti (Humidity). Obojí převod na napětí.

Konfigurace byla provedena ručně a měření bylo spuštěno do ručního zastavení po dobu 36 sekund s periodou 2 sekundy. Na následujícím obrázku, kde je výstupní CSV soubor měření, je vidět, které kanály byly konfigurovány, normování u měření tlaku a vlhkosti a samotná měřená data.

	A	B	C	D	E	F
1	Date:	5.4.2013	Measure:	Universal	Measured by:	Operator1
2						
3	Channel:	Channel name:	Offset:	Gain:	Unit:	
4	6	Oil cooler out			°C	
5	7	Oil cooler in			°C	
6	8	Ambient temperature			°C	
7	15	Atmospherics press	0	0,232	bara	
8	16	Humidity	0	10	%	
9						
10						
11	Time:	Oil cooler out [°C]	Oil cooler in [°C]	Ambient temperature [°C]	Atmospherics press [bara]	Humidity [%]
12	16:46:48	23,402	23,274	22,63	0,99307721	45,101716
13	16:46:49	23,406	23,306	22,672	0,99312277	45,101716
14	16:46:51	23,449	23,331	22,666	0,99312783	45,098225
15	16:46:53	23,436	23,343	22,64	0,99312277	45,101389
16	16:46:55	23,439	23,329	22,637	0,99317339	45,101389
17	16:46:57	23,436	23,332	22,618	0,99314808	45,099861
18	16:46:59	23,464	23,316	22,61	0,99311771	45,101498
19	16:47:01	23,423	23,31	22,624	0,99311013	45,321542
20	16:47:03	23,483	23,367	22,616	0,99312783	45,09888
21	16:47:05	26,422	25,288	22,628	0,99311266	45,100843
22	16:47:07	26,389	24,978	22,65	0,99309746	44,989783
23	16:47:09	31,118	24,495	22,66	0,99314555	44,879489
24	16:47:11	34,086	24,206	22,668	0,99309493	44,875561
25	16:47:13	36,127	24,03	22,655	0,99311771	44,989565
26	16:47:15	37,848	23,927	22,613	0,99310505	44,986619
27	16:47:17	39,617	23,912	22,586	0,99311771	45,10008
28	16:47:19	41,215	23,839	22,567	0,99307721	44,98771
29	16:47:21	42,691	23,781	22,581	0,99304431	44,878289

Obrázek 14: Výstupní CSV soubor z univerzálního měření

Výsledný CSV soubor pod názvem testUNI.csv je uložen také na přiloženém CD.

5.3.2 Zkušební měření LAT/CTD

Prvním ze specializovaných měření bylo měření LAT/CTD. Na kanálech 6, 7 a 9 byly připojeny termočlánky na vstupu do kompresoru (Inlet) a na kanále 10 termočlánek na výstupu z kompresoru (Disch). Měření bylo spuštěno po dobu 90 sekund s periodou 2 sekundy. Alarmy byly ponechány v defaultním nastavení a pro toto měření nebyly vyžadovány.

Výsledný CSV soubor pod názvem testLATCTD.csv je uložen na přiloženém CD.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Date:	5.4.2013	Measure:	LAT/CTD	Measured by	Operator1						
2												
3	Time:	LAT [°C]	Alarm (95,0)	CTD [°C]	Alarm (20,0)	A/E Discharge [°C]	Alarm (100,0)	Ambient Temp [°C]	Alarm (20,0)	Inlet [°C] Ch6	Inlet [°C] Ch7	Inlet [°C] Ch9
4	17:48:44	80,4	No	21,3	Yes	54,3	No	33,1	No	28,7	37,3	33,2
5	17:48:45	80,4	No	21,3	Yes	54,3	No	33	No	28,6	37,3	33,2
6	17:48:47	81,4	No	20,3	Yes	53,3	No	33	No	28,5	37,3	33,3
7	17:48:49	79,4	No	22,3	Yes	55,3	No	32,9	No	28,4	37,2	33,2
8	17:48:51	77,8	No	23,9	Yes	57	No	33,1	No	28,4	37,8	33
9	17:48:53	76,5	No	25,2	Yes	58,7	No	33,4	No	28,1	39,4	32,8
10	17:48:55	74	No	27,7	Yes	61,4	No	33,7	No	27,5	40,8	32,6
11	17:48:57	72,4	No	29,3	Yes	62,9	No	33,6	No	27	41,4	32,4
12	17:48:59	71,3	No	30,4	Yes	64	No	33,6	No	26,7	41,9	32,2
13	17:49:01	70,1	No	31,6	Yes	65,1	No	33,5	No	26,2	42,2	32
14	17:49:03	68,9	No	32,8	Yes	66,3	No	33,5	No	26,1	42,6	31,8
15	17:49:05	67,5	No	34,2	Yes	67,7	No	33,5	No	25,9	43	31,6
16	17:49:07	66	No	35,7	Yes	69,3	No	33,6	No	26	43,4	31,4
17	17:49:09	64,6	No	37,1	Yes	70,7	No	33,6	No	25,8	43,7	31,2
18	17:49:11	63,2	No	38,5	Yes	72,1	No	33,6	No	25,6	44,1	31,1
19	17:49:13	61,8	No	39,9	Yes	73,6	No	33,7	No	25,6	44,5	30,9

Obrázek 15: Ukázka výstupního CSV souboru měření LAT/CTD

5.3.3 Zkušební měření Flow

Další specializované měření Flow proběhlo při tomto nastavení nominálních hodnot a konstant:

$$Q_{nom} : 35,5 \frac{m^3}{min} \quad k_1 : -7,691234565$$

$$d_{nozz} : 31,78mm \quad k_2 : -26,08023696$$

$$C_{nozz} : 0,99331 \quad k_3 : -168,1706546$$

$$P_i^{nom} : 304kW \quad k_4 : 64,23285504$$

$$P_i : 289,3kW \quad k_5 : -118,9646225$$

$$f : 1 \quad k_6 : 4,16711732$$

$$\Psi_{amb} : 59,1\% \quad k_7 : 20,9750676$$

U měřených hodnot byl u termočlánků nastaven typ T, tlakový převodník barometrického tlaku byl nanormován na offset: 0,04 a konstantu: 2,95, tlakový převodník tlaku trysky byl nanormován na offset: 0 a konstantu: 3,19.

Měření bylo spuštěno po dobu 96 sekund s periodou 2 sekundy.

Výsledný CSV soubor pod názvem testFlow.csv je uložen na příloženém CD.

	A	B	C	D	E	F
1	Date:	5.4.2013	Measure:	Flow	Measured by:	Operator1
2						
3	Time:	Flow [m3/min]	Flow deviation [%]	Nominal specific power [Specific power [kW/m3/min]	Specific power deviation [%]
4	18:11:03	37,237	4,892	8,563	7,769	9,274
5	18:11:04	37,239	4,895	8,563	7,772	9,272
6	18:11:06	37,24	4,896	8,563	7,774	9,27
7	18:11:08	37,236	4,895	8,563	7,776	9,268
8	18:11:10	37,238	4,893	8,563	7,778	9,265
9	18:11:12	37,239	4,894	8,563	7,775	9,263
10	18:11:14	37,31	4,891	8,563	7,776	9,26
11	18:11:16	37,321	4,892	8,563	7,772	9,261
12	18:11:18	37,325	4,892	8,563	7,77	9,263
13	18:11:20	37,324	4,89	8,563	7,769	9,264

Obrázek 16: Ukázka výstupního CSV souboru měření Flow

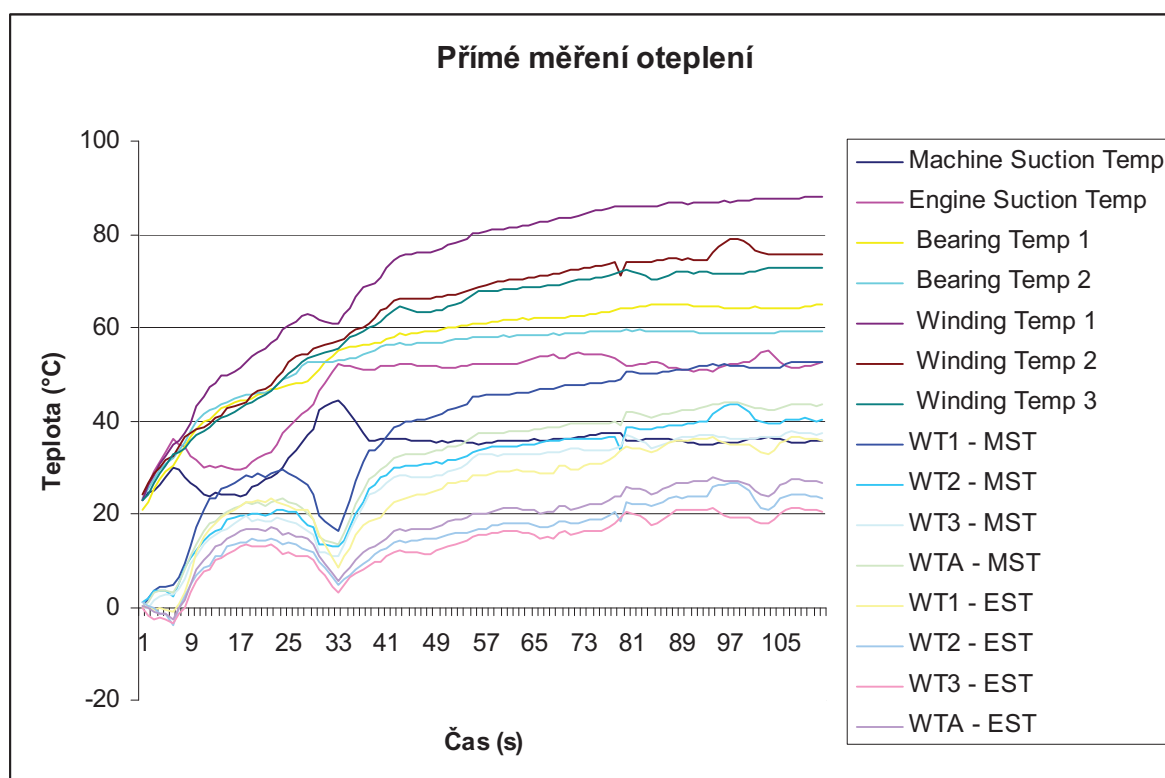
5.3.4 Zkušební měření oteplení motoru

Posledním měřením bylo měření oteplení motoru a to jak přímé, tak nepřímé.

Ke přímému měření bylo použito 7 termočlánků typu T, zapojených podle požadavků na toto měření, to znamená: 1 termočlánek připojen na sání do stroje, 1 termočlánek na sání do motoru, 2 termočlánky připojeny na ložiska a 3 termočlánky na vinutí motoru.

Měření bylo spuštěno po dobu 112 sekund s pevně definovanou periodou 1 sekunda.

Výsledný CSV soubor pod názvem testResD.csv je uložen na příloženém CD.

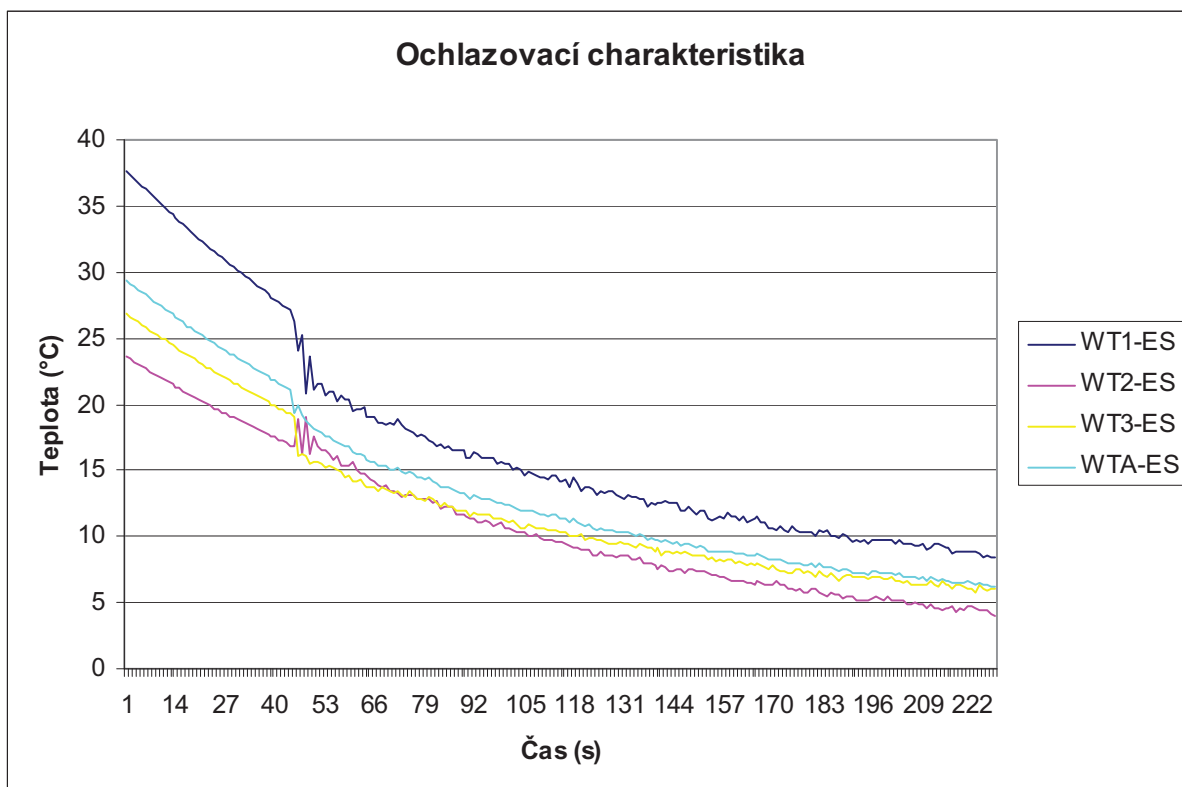


Obrázek 17: Graf - Přímé měření oteplení

K nepřímému měření oteplení byly použity 2 termočlánky typu T a vodiče pro měření odporu, termočlánky byly připojeny na sání do stroje a do motoru. Po vypnutí motoru byly stykačově na svorky motoru připojeny vodiče k měření odporu.

Doba od vypnutí motoru do připojení měřících sond a spuštění měření byla 45 sekund, měření probíhalo 183 sekund s pevně definovanou periodou 1 sekunda.

Výsledný CSV soubor pod názvem testResI.csv je opět uložen na přiloženém CD.



Obrázek 18: Ochlazovací charakteristika u nepřímého měření oteplení

Na předchozím obrázku, kde je ochlazovací křivka nepřímého měření oteplení, je vidět do 45 sekundy dopočtené ochlazení, tedy v době od zastavení kompresoru do připojení měření odporu na stykače motoru. Od 45 sekundy jde o měřenou část, jen je proveden přepočet na teplotu.

Tímto posledním testem bylo zkušební měření úspěšně ukončeno.

6 Zjednodušená verze aplikace nevyžadující knihovny LabView

Posledním bodem této práce je vytvoření zjednodušené verze aplikace nevyžadující knihovny Labview.

Pro implementaci zjednodušené verze aplikace jsem si vybral vývojové prostředí Microsoft Visual Studio 2010 a programovací jazyk C#.

6.1 Implementace zjednodušené verze v C#

Pro ovládání měřicí jednotky jsem použil ovladač IVI-COM přímo pro jednotku Agilent 34980A. Tento ovladač, je kromě programování v .NET možné použít také při programování v Microsoft® Visual Basic, Microsoft Visual C++, Agilent VEE Pro, National Instruments LabVIEW, National Instruments LabWindows, a dalších.

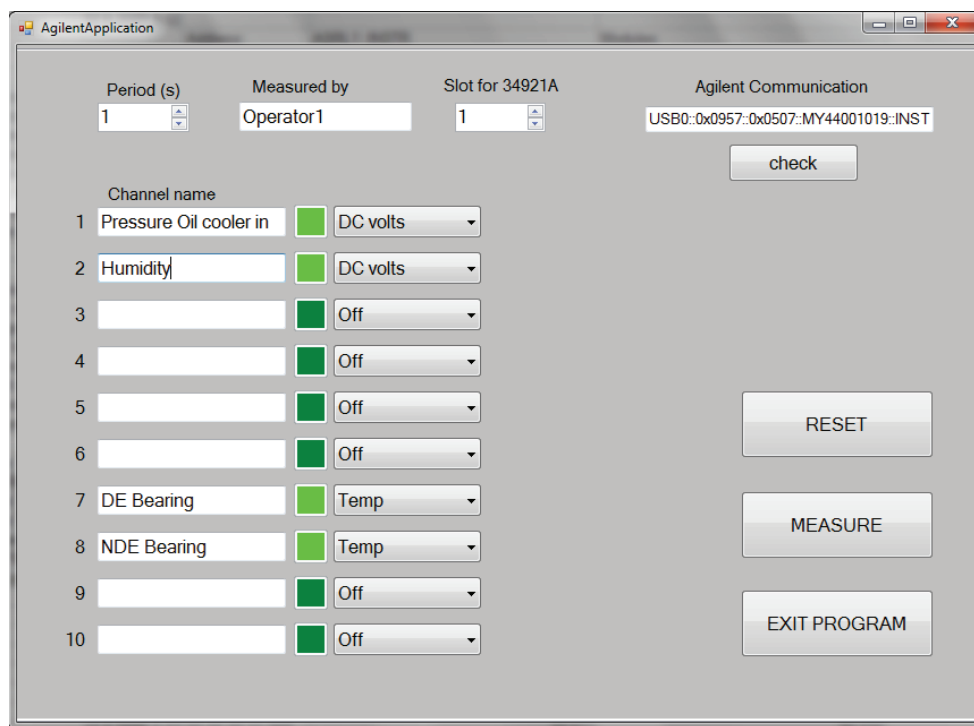
IVI-COM drivery patří mezi přístrojové ovladače IVI Foundation a nahrazují komunikaci na nejnižší úrovni pomocí komfortnějších komplexních funkcí. Výhodou tedy je to, že se není třeba učit specifické příkazy pro ovládání přístroje (podle standartu SCPI nebo i jiné), obsahují komfortní funkce pro relativně snadné ovládání. Dostupné bývají na webových stránkách výrobců (v tomto případě zde [1]) nebo i webu National Instruments [2]. K dispozici jsou: .dll +.lib +.h (+ .c, .fp, .txt).

Předchůdcem IVI driverů jsou ovladače standartu VXI Plug&Play, které jsou sice jednodušší, ale mají jen omezené možnosti, takže neobsahují pokročilé funkce jako je kontrola rozsahu parametrů, sledování stavu–nastavení, simulace nepřípojeného HW nebo kontrola stavu a chyb.

Mému účelu nejvíc vyhovovala Windows Forms aplikace, proto jsem si ji vybral pro implementaci odlehčené verze univerzálního měření. Tato aplikace bude komunikovat s jednotkou, načítat konfigurační parametry jednotky z INI souboru a zase je tam ukládat, provádět konfiguraci kanálů (deseti) a provádět měření.

Před použitím COM objektu v C# bylo nutné přidat potřebné reference v Solution Exploreru, konkrétně: Agilent34980A, IviDmmLib a IviDriverLib (případně ještě Agilent 34921A, Agilent 34952A a IviSwthLib). Potřebnými jmennými prostory (namespace) jsou potom Agilent.Agilent34980A.Interop a Ivi.Driver.Interop.

Nejprve jsem si vytvořil instanci třídy TabControl se dvěma záložkami – Configure a Measure. Na Configure umístil GroupBox a do něj objekty tlačítek, kontrolky a textového pole. Dále jsem na záložku Configure přidal tlačítka Reset, Measure, Exit program a textboxy pro vyplnění konfigurace jednotky Agilent, nastavení periody měření, jména operátora a slotu zásuvné karty. Kompletní GUI konfigurační částí je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 19: Konfigurační obrazovka měřicího programu v C#

Abych mohl v programovém kódu pracovat s jednotkou, je nejprve nutné vytvořit instanci rozhraní `Agilent34980()`, v mém případě jsem ji nazval `host`. Rozhraní obsahuje řadu metod, jejichž důležitou část pro moji aplikaci také popíšu. Metodou, která provádí inicializaci jednotky a vybudujete tedy komunikační propojení s jednotkou je metoda `Initialize()`, ta vyžaduje předání několika parametrů, z nichž nejdůležitější je inicializační řetězec. Metodou, která spojení s jednotkou uzavírá je `Close()`.

Seznam měřených kanálů se zadává jako string obsahující čísla kanálů s číslem slotu měřicí karty uvedeném na začátku oddělené čárkou, stejně jako to bylo v případě LabView, tedy např. 1002,1005,1010. K tomuto účelu slouží metoda `Scan.ConfigureScan()`, kde tento string je prvním parametrem.

Ke konfiguraci jednotlivých měřených veličin dále slouží příslušné metody, konkrétně z těch, které používám v aplikaci, je to ke konfiguraci termočlánků určená metoda `Temperature.Thermocouple.Configure()`, ke konfiguraci měření stejnosměrného napětí `Voltage.DCVoltage.Configure()` a k měření odporu metoda `Resistance.Configure()`. Tyto metody mají také jako první parametr číslo nebo čísla použitých kanálů jako tomu je v případě `ConfigureScanu`, dalšími parametry poté jsou už konkrétní nastavení pro jednotlivá měření, jak je vidět v následující ukázce ze zdrojového kódu aplikace:

```
// Specifikace scan listu, 1 sweep per trigger, scan bez seřazení
host.Scan.ConfigureScan(sList, 1, false);
```

```
// Konfigurace termočlánku: kanály, resolution - default, type - T
host.Temperature.Thermocouple.Configure(sListTemp,
Agilent34980AResolutionEnum.Agilent34980AResolutionDefault,
```

```

        Agilent34980AThermocoupleEnum.Agilent34980AThermocoupleTType);

// Konfigurace měření DC napětí: kanály, rozsah - auto, resolution - default
        host.Voltage.DCVoltage.Configure(sListVolts, -1,
        Agilent34980AResolutionEnum.Agilent34980AResolutionDefault);

// Konfigurace měření odporu: kanály, rozsah - auto, resolution - default
        host.Resistance.Configure(sListOhm, -1,
        Agilent34980AResolutionEnum.Agilent34980AResolutionDefault);

```

Vlastní měření začíná spuštěním metody `Measurement.Initiate()`, jednotlivě načtené pole dat z jednotky získávám pomocí další metody `Measurement.ReadNumbersOnly()`, kde jediným parametrem je opět string obsahující seznam použitých kanálů popsany výše.

Kód jsem doplnil aplikační logikou, aby bylo možné provést nastavení jednotlivých kanálů a poté měření. Popisy jednotlivých metod aplikace jsou v programátorské příručce, která je v příloze VI této diplomové práce.

6.2 Porovnání s LabView aplikací

V této části popíšu výhody a nevýhody vývoje a programování měřicí aplikace v klasickém textovém jazyce (v mém případě .NET a C#) oproti vývoji a programování v LabView, jak ze všeobecně známých informací, tak především z mých zkušeností.

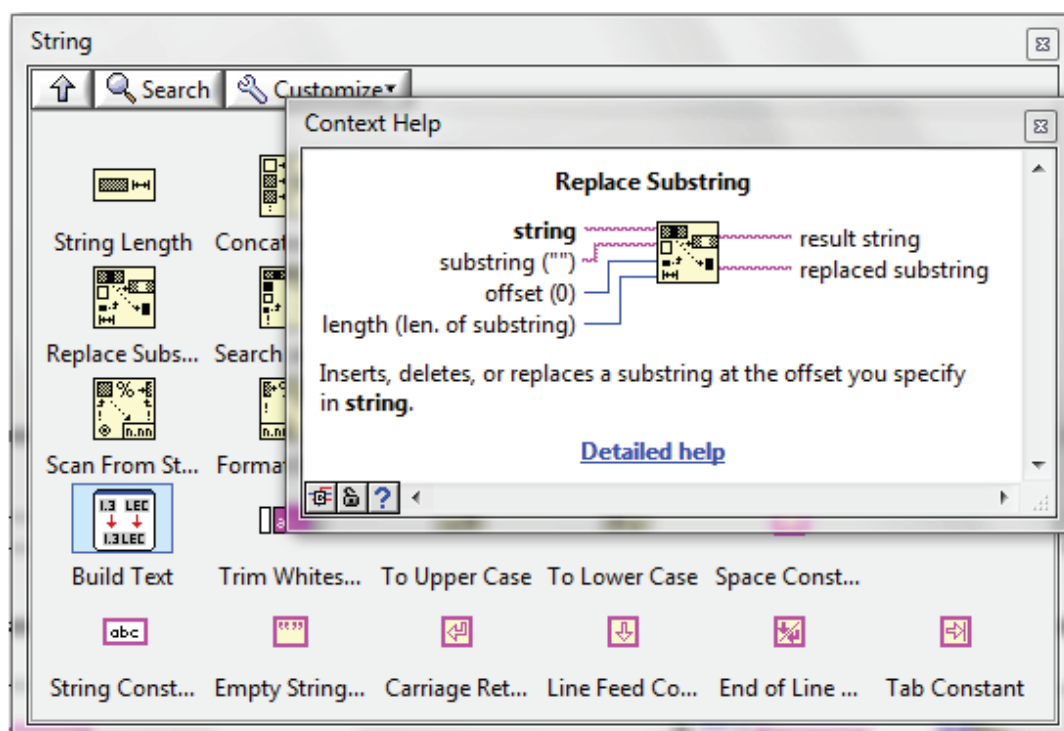
6.2.1 Výhody textových programovacích jazyků (C#)

1. **Textové programovací jazyky jsou více rozšířené** – syntaxe hlavně objektových programovacích jazyků jsou navíc velmi podobné a programováním v nich se zabývá drtivá většina programátorů. Programováním v LabView, i když je to plnohodnotný programovací jazyk, se zabývají prakticky jen programátoři aplikací pro měření.
2. **Existují vývojové nástroje zdarma** - i když jako v případě programování v .NETu je ideální používat plnohodnotnou verzi Microsoft Visual Studio, tak existuje vždy i verze Express, jehož omezení snižují pouze komfort při samotném programování. Neexistuje varianta LabView, která je zdarma, pouze 30-ti denní evaluation verze.
3. **.NET Framework součástí aktualizací Windows** – pokud si chci spustit aplikaci vytvořenou v .NETu s velkou pravděpodobností už budu mít ve Windows nainstalován .NET Framework. LabView runtime je potřeba stáhnout z webových stránek National Instruments a nainstalovat ručně.

6.2.2 Výhody LabView (G)

1. **LabView obsahuje v základní instalaci spoustu knihoven pro měření** – LabView bylo vyvinuto firmou vyrábějící měřicí přístroje a zásuvné karty do počítačů, proto i jejich programovací jazyk a prostředí obsahuje všechny potřebné nástroje pro měření. Při programování v textových jazycích, je třeba si potřebné knihovny zajistit, případně naprogramovat.

2. **Orientace v kódu** – grafický kód LabView je mnohem přehlednější než jsou kódy textových jazyků, přední panel aplikace v LabView je srovnatelný se zobrazením Design ve Visual Studiu, ale blokové schéma je se zobrazením zdrojového kódu neporovnatelně přehlednější.
3. **Výběr programových prvků a funkcí z přehledných seznamů** – pokud chci v LabView použít nějaký prvek nebo funkci, nemusím znát jejich přesný název, stačí si jej vyhledat podle kategorie. Navíc, pokud mám zapnutou kontextovou nápovědu, získám okamžitě ke každému požadovanému prvku nejdůležitější informace. Visual Studio sice nabízí grafický přístup k některým svým třídám, které jsou dokonce zařazeny v poměrně nepřehledných textových kategoriích, ale informace k nim je úplně strohá a neinformuje ani o nejpoužívanějších metodách těchto tříd.



Obrázek 20: Výběr prvků a funkcí z nabídek v LabView

7 Závěr

Ve své diplomové práci jsem úspěšně vytvořil automatizované měřicí stanoviště pro testování šroubových kompresorů.

Nejprve jsem popsal měřicí jednotku Agilent 34980A a analyzoval možné hardwarové řešení stanoviště. Na základě požadavků na měření jsem navrhl a zrealizoval zkušební měřicí stanoviště vytvořil pro něj projektovou dokumentaci včetně projektu elektrických zapojení v programu EPLAN P8.

V další části jsem zanalyzoval požadavky na aplikaci pro automatizované měření, kde jsem nejdříve zpracoval jednotlivé postupy u specializovaných měření, které jsem poté implementoval do své nově vytvořené aplikace v grafickém programovacím prostředí LabView. Tuto aplikaci jsem vytvořil tak, aby splňovala požadavky jak funkční, tak aby byla maximálně intuitivní pro obsluhu. Zároveň jsem vymyslel a zrealizoval způsob jak zpracovat jednotlivá měření do modulů vycházejících z jedné společné části aplikace tak, aby jejich tvorba měla stejné prvky, jak co se grafického rozhraní týče, tak logických částí v blokových diagramech (kódu).

Během práce na aplikaci jsem využil zkušenosti ze své předchozí bakalářské práce a práce v LabView, kdy jsem i díky tomu mohl více přemýšlet na optimalizacích aplikace, kdy jsem například veškerá konfigurační data nejprve ukládal do polí a tím jsem si v dalších fázích aplikace zjednodušil předávání dat.

Hotovou aplikaci jsem nainstaloval na zkušebním měřicím stanovišti a vytvořil pro ni uživatelskou příručku pro zaškolení obsluhy, ve které jsem také důkladně popsal struktury výstupních CSV souborů. Navíc jsem ve vlastní práci rozebral jednotlivé konfigurační soubory INI, aby byl uživatel schopen tyto sám mimo aplikaci vytvářet.

Na měřicím stanovišti byla na této aplikaci provedena měření, při kterých jsem vyzkoušel jednotlivé moduly pro speciální měření. Z těchto měření jsem pořídil výstupní CSV soubory, vhodné k případnému dalšímu zpracování v Excelu.

Nakonec jsem úspěšně prověřil možnosti práce s jednotkou Agilent 34980A přes zjednodušenou aplikaci psanou v jazyce C# a na základě i těchto zkušeností popsal výhody a nevýhody klasických textových jazyků při tvorbě měřicích programů.

Zpracováním tématu a hotovou aplikací jsem zcela naplnil očekávání zadavatele. Výsledky jsou tedy plně uplatitelné v praxi, kde budou využívány k testování kompresorů.

Přínosy z této práce pro sebe vidím v prohloubení znalostí a zkušeností v oblastech propojení elektrotechniky, elektrického měření a informatiky v praxi.

U vytvořené aplikace pro automatizované měření jsem diskutoval rozšíření o další moduly a také o možnosti přesnějšího měření odporu přes externí zařízení připojené k jednotce Agilent. Případně zda by bylo možné vytvořit společnou konfiguraci pro všechna měření.

Literatura

- [1] *webové stránky firmy Agilent, výrobce jednotky Agilent 34980A* [Online] [cit.2013-04-15]. <<http://www.agilent.com>>.
- [2] *webové stránky firmy National Instruments, výrobce LabView* [Online] [cit.2013-04-15]. <<http://www.ni.com>>.
- [3] STÝSKALA, P., *Návrh univerzálního testovacího programu v LabView pro univerzální měřící ústřednu Agilent 34980*, Ostrava, 2011. 26 s., 6 s. příloh, Bakalářská práce na Fakultě elektrotechniky a informatiky VŠB TU Ostrava na katedře informatiky. Vedoucí bakalářské práce Ing.Tomáš Mlčák, Ph.D.
- [4] *webové stránky firmy Dell, výrobce notebooku Dell Latitude E6400* [Online] [cit.2013-04-02] < <http://www.dell.com>>.
- [5] *Snímače pro měření teploty, přednáška, Technická univerzita v Liberci* [Online] [cit.2013-04-02] < http://www.kst.tul.cz/podklady/experimentalnimetody/prednasky/p%2010_snimace_teploty.pdf >.
- [6] *Laboratorní průvodce, Jiné jednotky, Laboratorní zpravodaj* [Online] [cit.2013-04-02] <<http://www.labo.cz/mft/jedjine.htm>>.
- [7] *webové stránky Southeastern Automation, Inc., tlakové převodníky Druck PDCR 130* [Online] [cit.2013-04-02] <<http://www.southeastern-automation.com/PDF/GESensing/Pressure/130.pdf>>.
- [8] *webové stránky firmy Comet, výrobce snímače relativní vlhkosti CometSystem HG010.65L* [Online] [cit.2013-04-02] < <http://www.cometsystem.cz/> >.
- [9] *webové stránky firmy Lapp Group, výrobce stíněných kabelů UNITRONIC®* [Online] [cit.2013-04-02] < <http://www.lappgroup.com/>>.
- [10] *webové stránky firmy EPLAN engineering s.r.o., poskytovatel software EPLAN* [Online] [cit.2013-04-05] <<http://www.eplan.cz/>>.
- [11] Steve Eaton, *ISO1217 Flow and Power Calculations*, 2003.
- [12] ČSN EN 60034-1, *Točivé elektrické stroje - Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti*, Česká technická norma, 1999.
- [13] Ing.Tomáš Mlčák, Ph.D., *Elektrotechnika pro FMMI*, Studijní text, [Online] 2010 [cit.2013-04-15] <<http://www.person.vsb.cz/archivcd/FEI/EFMMI/>>.
- [14] Doc. Ing. Jan Židek, CSc, *Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW*, Výuková skripta, 2002 [cit.2013-04-06]

- [15] *webové stránky IVI Foundation, sdružení pro specifikaci přístrojových ovladačů* [Online] [cit.2013-04-15] <<http://www.ivifoundation.org/>>.
- [16] *webové stránky MSDN Microsoft pro Visual C# – Visual Studio 2010* [Online] [cit.2013-04-16] <[http://msdn.microsoft.com/en-us/library/vstudio/kx37x362\(v=vs.100\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/vstudio/kx37x362(v=vs.100).aspx)>.

Seznam příloh

- Příloha I:** Technická zpráva, 6 stran
- Příloha II:** Obvodová schémata, 10 stran
- Příloha III:** Uživatelská příručka k aplikaci, 13 stran
- Příloha IV:** Výstupní soubory měření (Univerzální, LAT/CTD, Flow), 4 strany
- Příloha V:** Fotodokumentace ze zkušebního měření, 2 strany
- Příloha VI:** Programátorská příručka (C#), 3 strany

Adresářová struktura přiloženého CD

/Aplikace	Spustitelná aplikace (nutná runtime verze LabView min. 2010) Zjednodušená aplikace v C#
/Diagramy	Diagramy návrhu aplikace
/Fotodokumentace	Fotografie ze zkušebního měření
/Prirucky	Uživatelská příručka k aplikaci a programátorská příručka ke zjednodušené aplikaci v C#
/Projektova_dokumentace	Technická zpráva a obvodová schémata
/Text	Soubor s textem práce, zadání, klíčová slova, abstrakt a přílohy
/Testy_mereni	Výstupní CSV soubory ze zkušebního měření a odpovídající konfigurační INI soubory
/Zdrojove_kody	Zdrojové kódy k aplikacím

Příloha I

Technická zpráva

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky



TECHNICKÁ ZPRÁVA

Investor: Ingersoll-Rand Czech Republic s.r.o.

Firma: VŠB-TU Ostrava

Projektant: Bc. Petr Stýskala

Název díla: Projekt měřicího stolu

Datum: 1. 4. 2013

Obsah

1. Základní údaje:	1
2. Rozsah projektové dokumentace	1
3. Podklady pro projekt	1
4. Předpisy a normy	1
5. Napěťové soustavy	2
6. Ochrana před úrazem elektrickým proudem	2
7. Uzemnění	2
8. Ochranná soustava	2
9. Ochrana před bleskem	2
10. Požadavky na dodávku elektrické energie	2
a) Napájecí místo:	2
b) Stupeň důležitosti dodávky energie:	3
c) Ochrana proti zkratům a přetížení, vypínatelnou zatížení:	3
d) Kompenzace účinníku a filtrace harmonické vyšších řádů:	3
e) Instalovaný příkon:	3
11. Popis technického řešení	3
a) Technické řešení	3
b) Popis provozně technických funkcí	3

1. Základní údaje:

- Předmětem tohoto projektu je návrh a konstrukce měřicího stolu.

2. Rozsah projektové dokumentace

- Výkres – Elektrická schémata

3. Podklady pro projekt

- Manuály
- Katalogy
- Zadání

4. Předpisy a normy

- ČSN 33 2000–1 ed.2:2009 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice,
- ČSN 33 2000–4–41 ed.2:2010 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4–41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem,
- ČSN 33 2000–4–43 ed.2:2010 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4–43: Bezpečnost - Ochrana před nadproudy,
- ČSN 33 2000–4–443 ed.2:2007 Elektrické instalace budov – Část 4–44: Bezpečnost - Ochrana před rušivým napětím a elektromagnetickým rušením – Kapitola 443: Ochrana proti atmosférickým nebo spínacím přepětím,
- ČSN 33 2000–4–473:1994 Elektrotechnické předpisy. Elektrická zařízení. Část 4: Bezpečnost. Kapitola 47: Použití ochranných opatření pro zajištění bezpečnosti. Oddíl 473: Opatření k ochraně proti nadproudům,
- ČSN 33 2000–5–51 ed.3:2010 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5–51: Výběr a stavba elektrických zařízení – Všeobecné předpisy,
- ČSN 33 2000–5–52 ed.2:2012 Elektrotechnické předpisy – Elektrická zařízení – Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení – Kapitola 52: Výběr soustav a stavba vedení,
- ČSN 33 2000–5–54 ed.3:2012 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5–54: Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění, ochranné vodice a vodice ochranného pospojování,
- ČSN 33 2000–5–559:2006 Elektrické instalace budov – Část 5–55: Výběr a elektrických zařízení - Ostatní zařízení – Oddíl 559: Svítidla a světelná instalace,
- ČSN 33 2000–7–701 ed.2:2007 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 7–701: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech – Prostory s vanou nebo sprchou,
- ČSN 33 0165:1992 Elektrotechnické předpisy. Značení vodičů barvami nebo číslicemi. Prováděcí ustanovení,
- ČSN 33 2030:2004 Elektrostatika – Směrnice pro vyloučení nebezpečí od statické elektřiny,
- ČSN 33 2130 ed.2:2009 Elektrické instalace nízkého napětí – Vnitřní elektrické rozvody,
- ČSN 33 2180:1979 Elektrotechnické předpisy ČSN. Připojování elektrických přístrojů a spotřebičů,
- ČSN 73 0580–1:2007 Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky,
- ČSN EN 12464–1:2012 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory,
- ČSN 38 0810:1986 Použití ochran před přepětím v silových zařízeních,
- ČSN 33 1500:1990 Elektrotechnické předpisy. Revize elektrických zařízení,
- ČSN 62 305–1:2006 Ochrana před bleskem,

- ČSN EN ISO 16484–1:2011 Automatizační a řídicí systémy budov (BACS) – Část 1: Projektová specifikace a realizace,
- ČSN EN ISO 16484–5:2011 Automatizační a řídicí systémy budov – Část 5: Datový komunikační protokol,
- ČSN EN 60335–1 ed.2 Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Bezpečnost – Část 1: Všeobecné požadavky,
- ČSN EN 60950–1 ed.2 Zařízení informační technologie – Bezpečnost – Část 1: Všeobecné požadavky,
- ČSN EN 61508–1 ed.2 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systému souvisejících s bezpečností – Část 1: Všeobecné požadavky,
- ČSN EN 50090–2–2 Elektronické systémy pro byty a budovy (HBES) – Část 2–2: Přehled systému – Všeobecné technické požadavky.

5. Napěťové soustavy

- 1/N/PE AC 50Hz, 230V /TN–S,
- 2 DC 24V SELV,

6. Ochrana před úrazem elektrickým proudem

- Základní ochrana je provedena dle normy ČSN 33 2000–4–41 ed.2. Všechny vodiče jsou v dvojité izolaci
- Ochrana při mimořádné poruše je provedena dle normy ČSN 33 2000–4–41 ed.2 ochranným pospojováním a automatickým odpojením od zdroje.
- Bezpečnostní obvody SELV jsou odděleny od silových částí překážkami a kryty

7. Uzemnění

- Uzemnění je provedeno dle normy 33 2000–5–51 ed.2
- Neživé části, které jsou současně přístupné dotyku, musí být spojeny se stejnou uzemňovací soustavou. Každý obvod musí obsahovat ochranný vodič spojený k příslušné uzemňovací svorce.

8. Ochranná soustava

- Průřez ochranného vodiče nesmí být menší, než je dáno čl. 543.1.2, čl. 543.1.3 ČSN 33 2000–5–54 ed.2 a průřez vodiče hlavního pospojování – čl. 547.1.1, průřez vodiče doplňujícího pospojování čl.547.1.2
- Ochranný vodič musí být připojen k uzemňovacímu přívodu nebo náhodnému uzemňovacímu přívodu zemniče zkušební svorkou a chráněn před mechanickým poškozením.

9. Ochrana před bleskem

- Objekt je chráněn třídou LPS.

10. Požadavky na dodávku elektrické energie

a) Napájecí místo:

Prívod elektrické energie je proveden prodlužovacím kabelem ze zásuvky.

b) Stupeň důležitosti dodávky energie:

Podle ČSN 34 1610 je stanovena důležitost dodávky elektrické energie stupněm 3.

c) Ochrana proti zkratům a přetížení, vypínatelnou zatížení:

Ochrana proti zkratu, přetížení je zajištěna příslušně dimenzovanými jistícími prvky.

d) Kompenzace účinníku a filtrace harmonické výšších řádů:

Není požadována

e) Instalovaný příkon:

Zařízení je připojeno do zásuvkového rozvodu s jištěním 16A

11. Popis technického řešení

a) Technické řešení

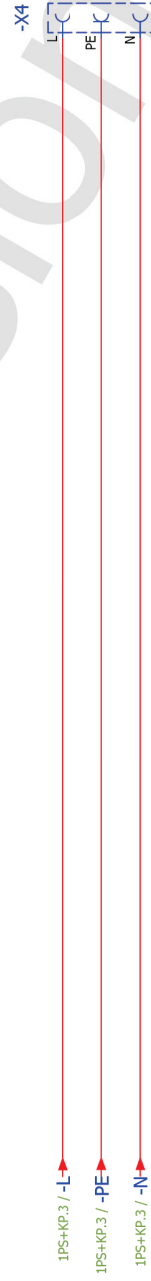
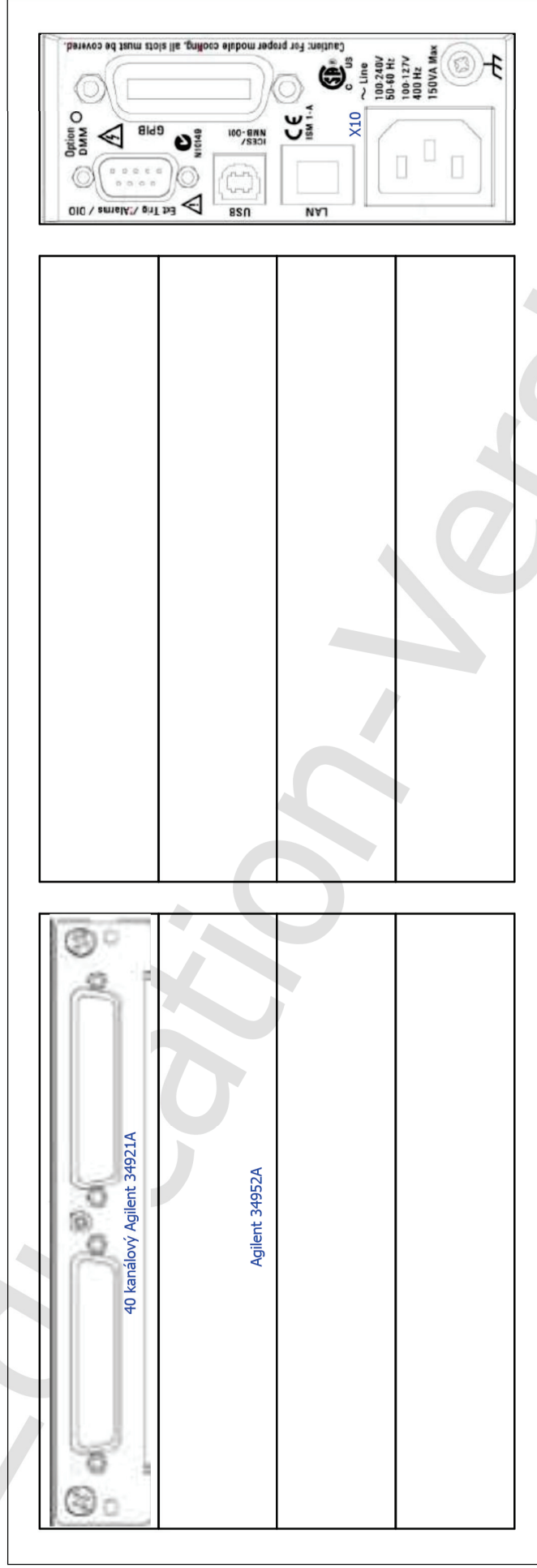
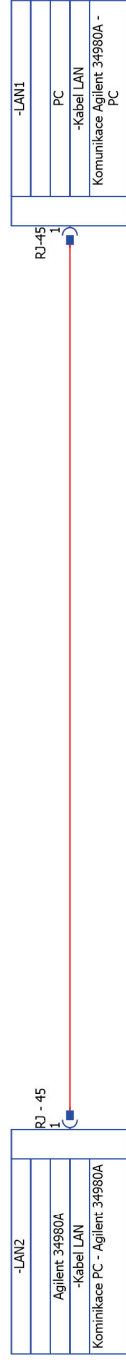
50ks termočlánků typu T, TC Ltd., 12-T-150-118-3.0-2I-3P2L-400mm
50ks termočlánků typu T, TC Ltd., 12-T-150-118-3.0-2I-3P4CTRL-400mm
4ks tlakových převodníků, Druck/DataCon, PDCR 130/W (0-16barg)
1ks tlakového převodníku, Druck/DataCon, PDCR 130/W (0-1.5bara)
1ks snímače relativní vlhkosti, CometSystem, HG010.65L
Stíněné vodiče UNITRONIC® 100 CY 4/0,34
Stíněné vodiče UNITRONIC® 100 CY 4/0,25

b) Popis provozně technických funkcí

Uživatelská příručka

Příloha II

Obvodová schémata

[illegible]

Karta Agilent 34921A 40 kanálů

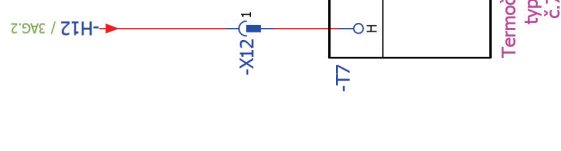
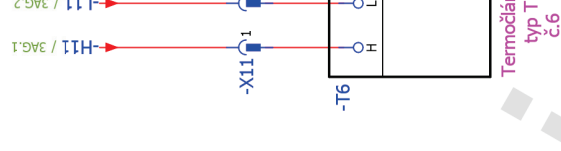
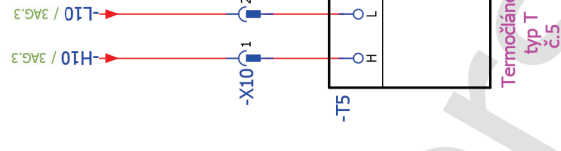
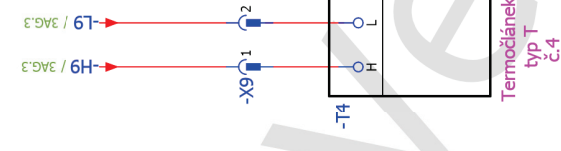
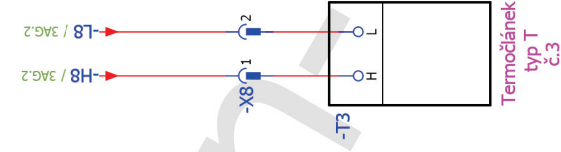
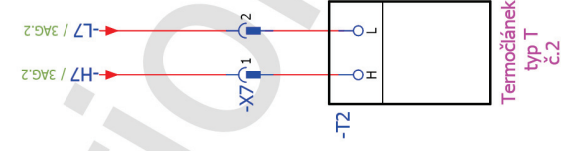
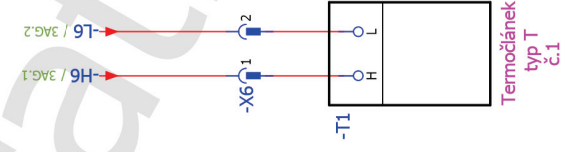
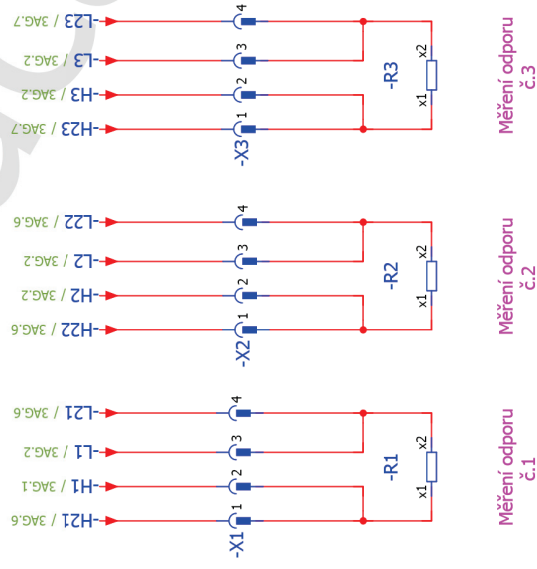


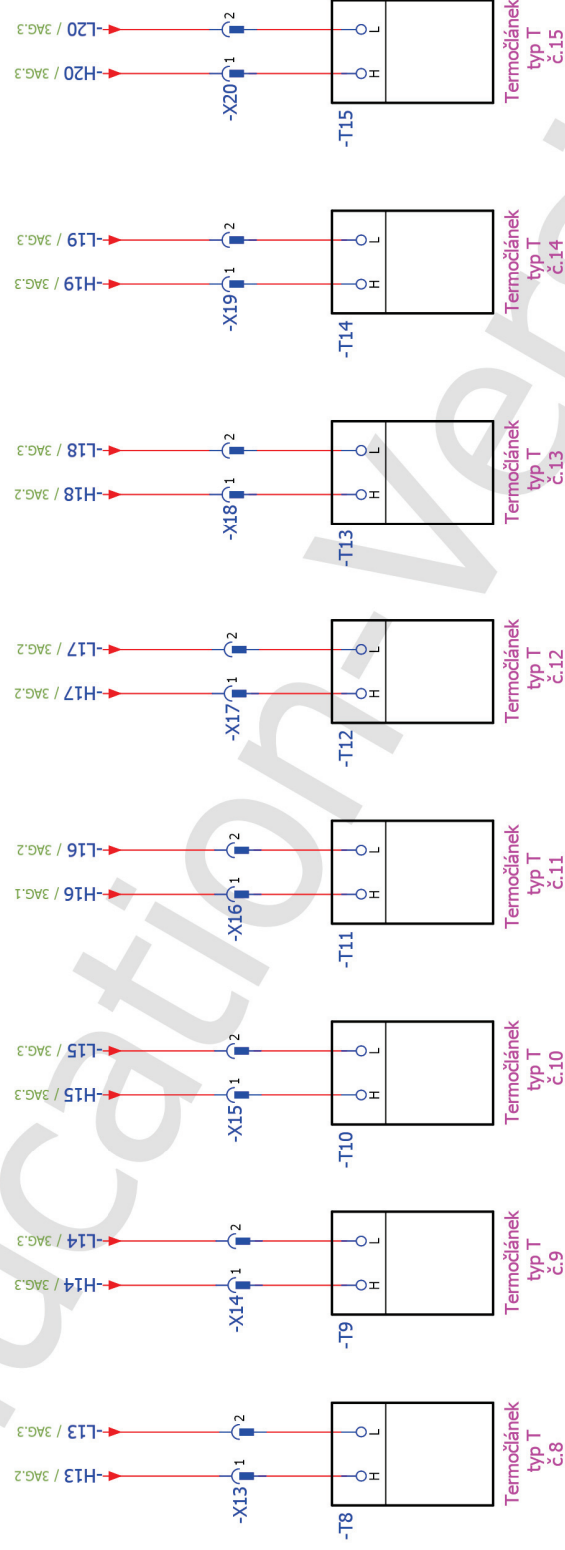
2AG						4AG					
		Datum	9.4.2013							= MP + RHlaKP	
		Zprac..	STY035								
		Zkontr.									
Změna	Datum	Název	Přív.	Nahradil	Nahradil	3AG					
List						List					
						List					
						9					

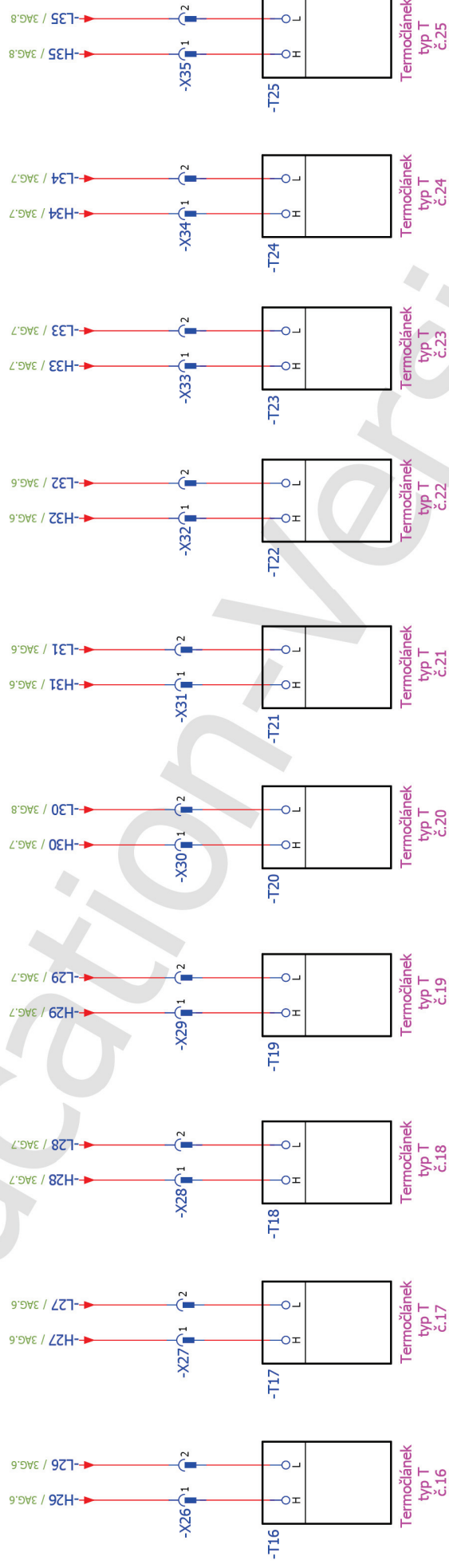
Karta Agilent 34952A

-X109	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	8	9	10	11	12	13	14	15				
-X110	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

-X111	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	16	17	18	19	20	21	22	23				
	23	24	25	26	27	28	29	30				
-X112	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12



[illegible]



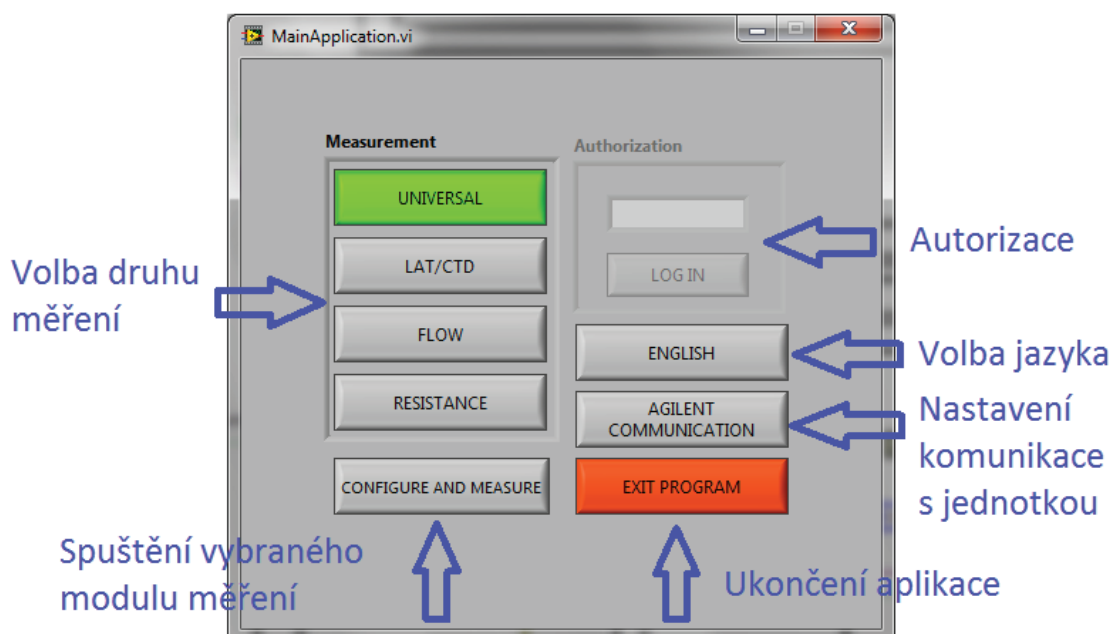
Příloha III

Uživatelská příručka k aplikaci

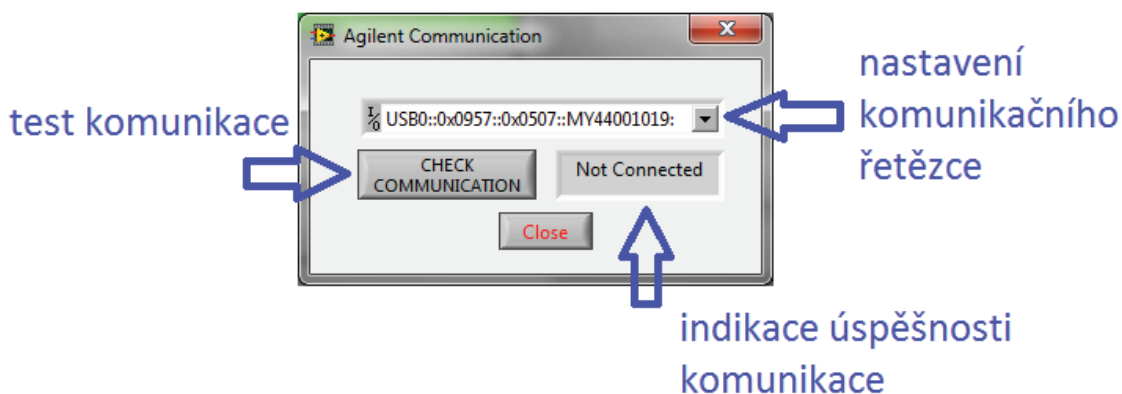
Uživatelská příručka k aplikaci AgilentApplication

1. Vstupní modul

Po spuštění aplikace se jako první objeví panel vstupního modulu.



Dokud není provedena autorizace zadáním PINu (1200) je možné aplikaci pouze ukončit nebo přepnout jazyk. Po trojím zadání špatného PINu se aplikace ukončí.

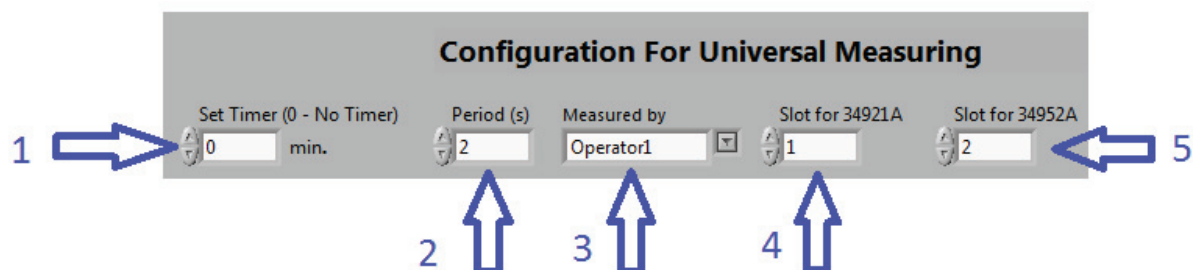


Po stisknutí tlačítka AGILENT COMMUNICATION je možné nastavit a zkontrolovat připojení k jednotce Agilent.

Před spuštěním požadovaného modulu (a jeho konfigurace) je třeba vybrat požadovaný druh měření z nabídky. Pokud není funkční komunikace s jednotkou Agilent, aplikace nedovolí přechod do vybraného modulu.

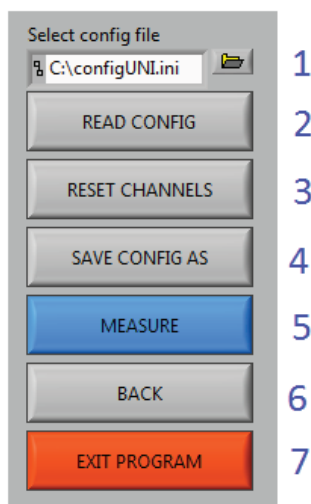
2. Modul univerzálního měření

Po spuštění modulu univerzálního měření je třeba nastavit následující parametry:



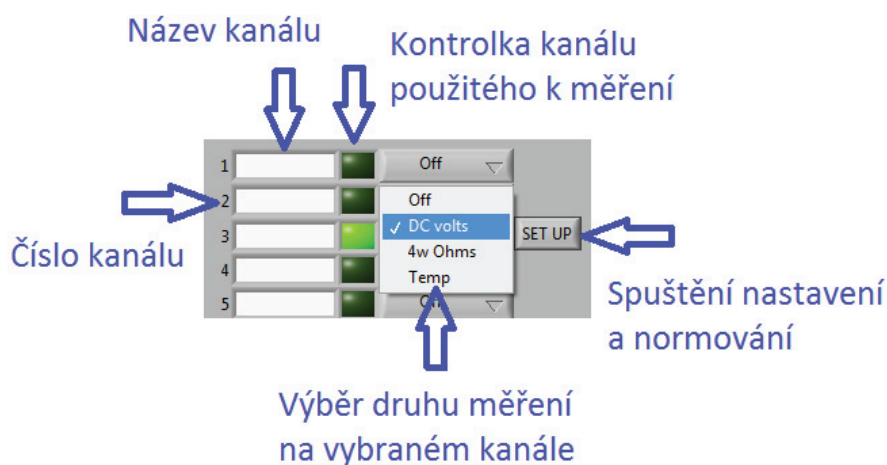
- 1) Nastavení časovače v celých minutách, při požadavku na ruční zastavení je třeba nastavit 0
- 2) Perioda měření v sekundách (s přesností na desetiny sekund)
- 3) Jméno obsluhy
- 4) Číslo slotu jednotky, ve kterém je zásuvná karta Agilent 34921A (většinou 1)
- 5) Číslo slotu jednotky, ve kterém je zásuvná karta Agilent 34952

Na pravé straně konfigurační obrazovky, podobně vždy na každé konfigurační obrazovce jednotlivých modulů, jsou následující ovládací tlačítka pro další řízení aplikace:

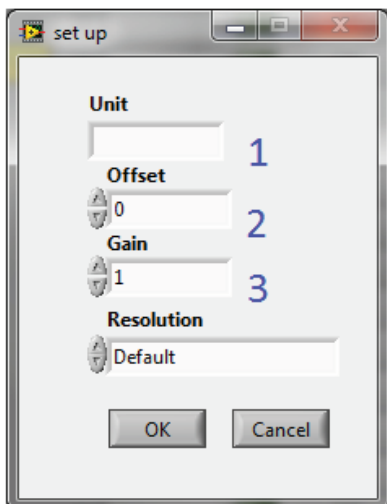


- 1) Výběr souboru pro načtení konfigu (INI)
- 2) Načtení vybraného konfigu (INI)
- 3) Reset kanálů do výchozího nastavení
- 4) Uložení současné konfigurace do INI
- 5) Přejít na měřicí obrazovku po nastavení
- 6) Návrat zpět na vstupní modul
- 7) Ukončení aplikace

Na konfigurační obrazovce jsou dále znázorněny jednotlivé měřicí kanály, jejich volby a popis je znázorněn zde:

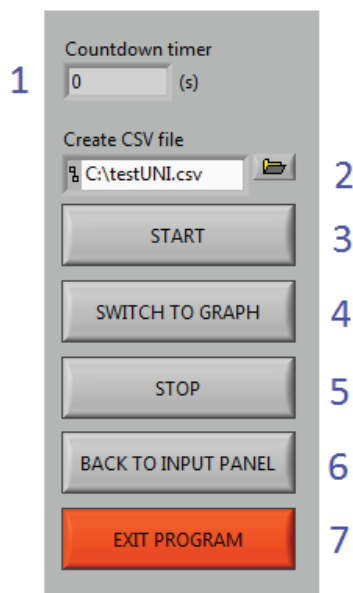


Vždy po rozkliknutí konkrétního tlačítka SET UP pro vybraný kanál, lze jej dále nastavit, případně normovat ve vyskakovacím okně.



- 1) Pole pro vyplnění fyzikální jednotky
- 2) Nastavení offsetu (pokud není použito, musí být 0)
- 3) Nastavení konstanty (pokud není použito, musí být 1)

Pokud je měření nakonfigurováno, je možné přejít na obrazovku měření stisknutím modrého tlačítka MEASURE. Ovládací tlačítka řízení aplikace na pravé straně obrazovky obsahují tyto prvky:



- 1) Odpočítávání sekund časovače (při dojetí na 0 se měření zastaví)
- 2) Výběr nebo vytvoření CSV souboru měření
- 3) Spuštění měření
- 4) Přepnutí na graf při měření
- 5) Ruční zastavení měření
- 6) Návrat na modul vstupního nastavení
- 7) Ukončení aplikace

Popis zbývajících zobrazovacích a ovládacích prvků:

		Počet desetinných míst		
		Name	Value	Unit
Číslo kanálu	1		0	
	2		0	
	3	napětí 1	0	V
				DoP
				4
				4
				4
				4

Název kanálu

Měřená hodnota

Fyzikální jednotka

V této fázi se promítnou nastavení pro název kanálu a fyzikální jednotku do řádků kanálů a je možné nastavit počet desetinných míst.

Po spuštění měření tlačítkem START jsou zobrazovány aktuální měřené hodnoty v požadovaných periodách a zároveň jsou tato data ukládána do vybraného CSV souboru.

Během měření je možné se přepnout na obrazovku grafu tlačítkem SWITCH TO GRAPH.

Po pravé straně grafu je možné zapínat a vypínat požadované kanály, případně nastavovat barvy, podle obrázku:



Na obrazovku měření se lze vrátit tlačítkem BACK. Zastavit měření je možné kdykoliv ručně tlačítkem STOP, případně pokud byl v konfiguraci nastaven časovač, měření je ukončeno po vypršení času časovače, jehož odpočítávání probíhá v indikátoru Countdown timer.

Po ukončení měření je možné se přepínat na obrazovku grafu, případně ukončit buď modul tlačítkem BACK TO INPUT PANEL nebo celou aplikaci stiskem tlačítka EXIT PROGRAM.

Popis výstupního CSV souboru univerzálního měření:

Na prvním řádku všech měření je vždy úvodní informativní hlavička souboru, která obsahuje informace o datu měření, název druhu měření a jméno toho, kdo měřil.

U univerzálního měření následuje hlavička konfigurace měření s těmito atributy (a samotná data):

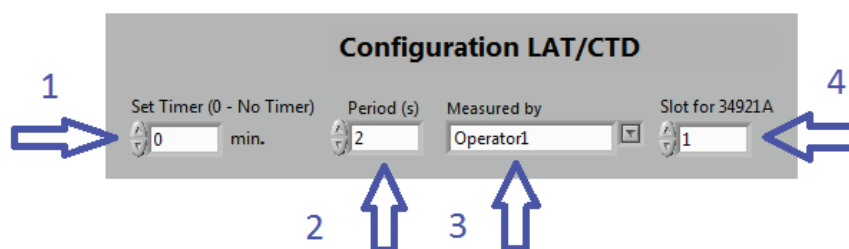
- 1) Číslo kanálu
- 2) Název kanálu
- 3) Nastavení offsetu (kromě termočlánků)
- 4) Nastavení konstanty (kromě termočlánků)
- 5) Fyzikální jednotka

Nakonec je to hlavička samotného měření s těmito atributy (a samotná data měření):

- 1) Aktuální čas – ve formátu HH.MM.SS (24 hod.)
- 2) Název měření + fyzikální jednotka (opakuje se podle počtu měřených kanálů)

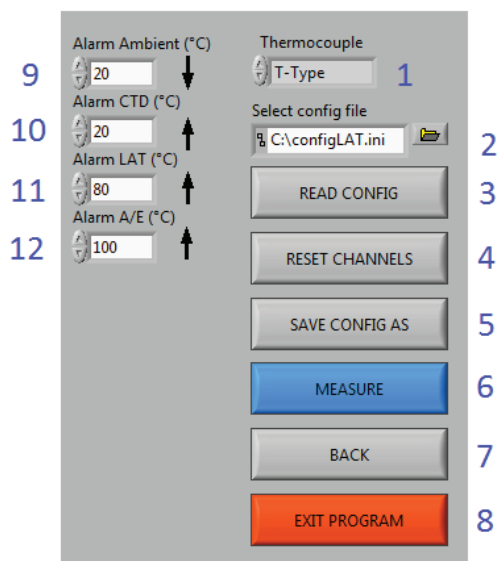
3. Modul měření LAT/CTD

Po spuštění modulu měření LAT/CTD je třeba nastavit následující parametry:



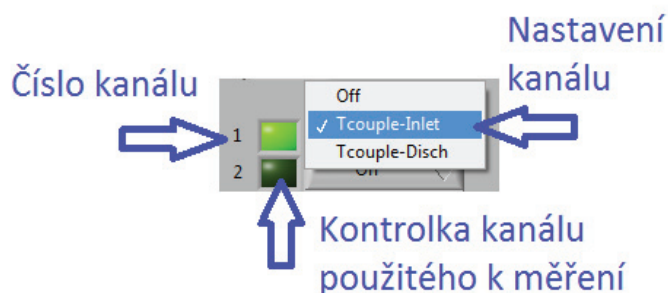
- 1) Nastavení časovače v celých minutách, při požadavku na ruční zastavení je třeba nastavit 0
- 2) Perioda měření v sekundách (s přesností na desetiny sekund)
- 3) Jméno obsluhy
- 4) Číslo slotu jednotky, ve kterém je zásuvná karta Agilent 34921A (většinou 1)

Na pravé straně konfigurační obrazovky jsou tlačítka k řízení aplikace a také další prvky.



- 1) Nastavení typu termočlánku
- 2) Výběr souboru pro načtení konfigu (INI)
- 3) Načtení vybraného konfigu (INI)
- 4) Reset kanálů do výchozího nastavení
- 5) Uložení současné konfigurace do INI
- 6) Přejít na měřicí obrazovku po nastavení
- 7) Návrat zpět na vstupní modul
- 8) Ukončení aplikace
- 9) Nastavení alarmu pro teplotu okolí (min.teplota)
- 10) Nastavení alarmu pro CTD (max.teplota)
- 11) Nastavení alarmu pro LAT (max.teplota)
- 12) Nastavení alarmu pro výstupní teplotu (max.teplota)

Konfigurace kanálů se skládá z výběru druhu kanálů



Pokud je měření nakonfigurováno, je možné přejít na obrazovku měření stisknutím modrého tlačítka MEASURE. Ovládací tlačítka řízení aplikace na pravé straně obrazovky mají stejnou funkčnost jako u univerzálního měření a měření Flow. Samotné měření se spouští stiskem tlačítka START.

Měření teplot na vstupu do kompresoru probíhá v tabulce, kde je vždy uvedeno i číslo kanálu, na kterém měření probíhá. Dále jsou v popsaných indikátorech zobrazovány průběžné hodnoty teploty vzduchu na výstupu z kompresoru, teplota okolí, hodnota LAT a CTD.

Inlet Ch.	Temp [°C]	A/E Discharge [°C]
1	41,2	98
2	41,4	
8	40,8	
14	42	
		Ambient Temp [°C]
		41,4
		LAT [°C]
		45,1
		CTD [°C]
		56,6

Podobně jako při univerzálním měření je možné se během měření přepínat na graf, kde jsou zobrazovány měřené hodnoty.

Zastavit měření je možné kdykoliv ručně tlačítkem STOP, případně pokud byl v konfiguraci nastaven časovač, měření je ukončeno po vypršení času časovače, jehož odpočítávání probíhá v indikátoru Countdown timer.

Po ukončení měření je možné se přepínat na obrazovku grafu, případně ukončit buď modul tlačítkem BACK TO INPUT PANEL nebo celou aplikaci stiskem tlačítka EXIT PROGRAM.

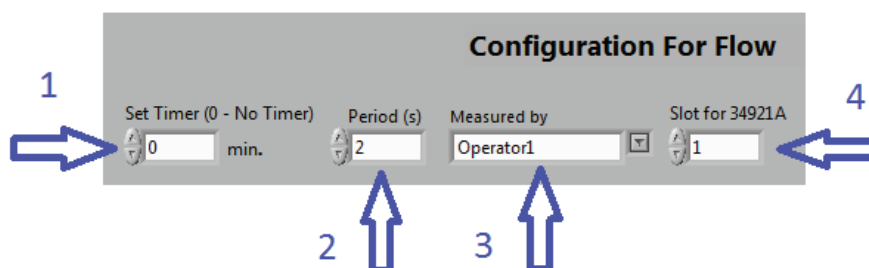
Popis výstupního CSV souboru měření LAT/CTD:

Po úvodní informativní hlavičce následuje hlavička měření s těmito atributy (a samotná data):

- 1) Aktuální čas ve formátu HH.MM.SS (24 hod.)
- 2) Hodnota LAT (°C)
- 3) Alarm pro LAT – pokud byla překročena teplota LAT oproti hodnotě alarmu nastaveném v konfiguraci, vypíše se Yes, jinak No
- 4) Hodnota CTD (°C)
- 5) Alarm pro CTD - pokud byla překročena teplota CTD oproti hodnotě alarmu nastaveném v konfiguraci, vypíše se Yes, jinak No
- 6) Hodnota A/E Discharge (°C)
- 7) Alarm pro A/E Discharge - pokud byla překročena teplota A/E Discharge oproti hodnotě alarmu nastaveném v konfiguraci, vypíše se Yes, jinak No
- 8) Hodnota Ambient (°C)
- 9) Alarm pro Ambient - pokud byla měřená teplota nižší než hodnota alarmu nastavená v konfiguraci, vypíše se Yes, jinak No
- 10) Hodnota Inlet (°C) - opakuje se podle počtu měřených kanálů

4. Modul měření Flow

Po spuštění modulu měření Flow je třeba nastavit následující parametry:



- 1) Nastavení časovače v celých minutách, při požadavku na ruční zastavení je třeba nastavit 0
- 2) Perioda měření v sekundách (s přesností na desetiny sekund)
- 3) Jméno obsluhy
- 4) Číslo slotu jednotky, ve kterém je zásuvná karta Agilent 34921A (většinou 1)

Na pravé straně konfigurační obrazovky jsou tlačítka k řízení aplikace.

- 1) Výběr souboru pro načtení konfigu (INI)
- 2) Načtení vybraného konfigu (INI)
- 3) Reset kanálů do výchozího nastavení
- 4) Uložení současné konfigurace do INI
- 5) Přechod na měřicí obrazovku po nastavení
- 6) Návrat zpět na vstupní modul
- 7) Ukončení aplikace



Pokud se nominální hodnoty a konstanty nenahrají z konfigu, je nutné je ručně vyplnit.

Nominal Values

Nominal flow	0	m3/min
Nozzle size (diameter)	0	mm
Nozzle coefficient	0	
Nominal package electric input	0	kW
Package electric input power	0	kW
Frequency factor	0	
Ambient humidity	0	%

Constants

k1	0
k2	0
k3	0
k4	0
k5	0
k6	0
k7	0

U měřených hodnot se provádí výběr kanálů, typu termočlánku a normování kanálů.

Volba typu termočlánku

Volba kanálů pro měření

Spuštění nastavení a normování

Measured Values - Configure

Ambient temperature	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">T-Type</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0</div>	Ch.	
Filter temperature	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">T-Type</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0</div>	Ch.	
Nozzle temperature	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">T-Type</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0</div>	Ch.	
Ambient pressure	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">SET UP</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0</div>	Ch.	
Nozzle pressure	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">SET UP</div>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0</div>	Ch.	

Pokud je měření nakonfigurováno, je možné přejít na obrazovku měření stisknutím modrého tlačítka MEASURE. Ovládací tlačítka řízení aplikace na pravé straně obrazovky mají stejnou funkčnost jako u univerzálního měření nebo u měření LAT/CTD. Samotné měření se spouští stiskem tlačítka START.

Data From Test		Calculation ISO 1217	
Ambient temperature	0 °C	Pnozza	0 bar
Filter temperature	0 °C	Tnozza	0 K
Nozzle temperature	0 °C	Tamba	0 K
Ambient pressure	0 bara	Tinleta	0 K
Nozzle pressure	0 barg	qm	0 kg/s
		ITamb	0
		ITinlet	0
		pvsTamb	0
		pvsTinlet	0
		Yinlet	0 %
		Qinlet	0 m3/min
		k13	0

Results	
Flow	0 m3/min
Flow deviation	0 %
Nominal specific power	0 kW/m3/min
Specific power	0 kW/m3/min
Specific power deviation	0 %

Během měření jsou zobrazovány průběžné hodnoty jak přímo měřené, tak jednotlivé přepočty a vypočtené výsledné hodnoty.

Podobně jako při univerzálním měření a měření LAT/CTD je možné se během měření přepínat na graf a sledovat tak výsledné Flow.

Zastavit měření je možné kdykoliv ručně tlačítkem STOP, případně pokud byl v konfiguraci nastaven časovač, měření je ukončeno po vypršení času časovače, jehož odpočítávání probíhá v indikátoru Countdown timer.

Po ukončení měření je možné se přepínat na obrazovku grafu, případně ukončit buď modul tlačítkem BACK TO INPUT PANEL nebo celou aplikaci stiskem tlačítka EXIT PROGRAM.

Popis výstupního CSV souboru měření Flow:

Po úvodní informativní hlavičce následuje hlavička měření s těmito atributy (a samotná data):

- 1) Aktuální čas ve formátu HH.MM.SS (24 hod.)
- 2) Flow (m3/min)
- 3) Flow deviation (%)
- 4) Nominal specific power (kW/m3/min)
- 5) Specific power (kW/m3/min)
- 6) Specific power deviation (%)

5. Modul měření oteplení motoru

Po spuštění modulu měření oteplení motoru je třeba nastavit následující parametry:

- 1) Volba druhu měření oteplení – přímé/nepřímé
- 2) Jméno obsluhy
- 3) Číslo slotu jednotky, ve kterém je zásuvná karta Agilent 34921A (většinou 1)

U přímého měření je navíc třeba nastavit zda se bude měřit na sedmi nebo deseti kanálech, proto je na konfigurační obrazovce navíc přepínač, kdy při jeho zapnutí je měřeno na deseti kanálech.

Direct Measurement - Configure

Machine Suction Temp. 1 Channel

Engine Suction Temp. 2 Channel

Bearing Temperature 1 3 Channel

Bearing Temperature 1 4 Channel

Winding Temperature 1 5 Channel

Winding Temperature 2 6 Channel

Winding Temperature 3 7 Channel

Winding Temperature 4 8 Channel

Winding Temperature 5 9 Channel

Winding Temperature 6 10 Channel

Dále se nastavují čísla použitých kanálů, typ termočlánků a resolution pro měření odporu.

4W Ohm Resolution

Default

Thermocouple

T-Type

Tlačítka pro řízení aplikace na pravé straně konfiguračního panelu jsou stejná jako v předchozích měřeních. Podle zvoleného druhu měření odporu dojde po stisknutí modrého tlačítka MEASURE k přechodu na konkrétní měřicí obrazovku (přímého nebo nepřímého měření).

5.1 Přímé měření oteplení

Ovládací tlačítka řízení aplikace na pravé straně obrazovky mají stejnou funkčnost jako u ostatních měření. Samotné měření se spouští stiskem tlačítka START.

Measured Values

Machine Suction Temp. 0 °C

Engine Suction Temp. 0 °C

Bearing Temperature 1 0 °C

Bearing Temperature 1 0 °C

Winding Temperature 1 0 °C

Winding Temperature 2 0 °C

Winding Temperature 3 0 °C

Winding Temperature 4 0 °C

Winding Temperature 5 0 °C

Winding Temperature 6 0 °C

Computed Values

Winding Temp. 1 - MST 0 °C

Winding Temp. 2 - MST 0 °C

Winding Temp. 3 - MST 0 °C

Winding Temp. 4 - MST 0 °C

Winding Temp. 5 - MST 0 °C

Winding Temp. 6 - MST 0 °C

Winding Temp. AVG - MST 0 °C

Winding Temp. 1 - EST 0 °C

Winding Temp. 2 - EST 0 °C

Winding Temp. 3 - EST 0 °C

Winding Temp. 4 - EST 0 °C

Winding Temp. 5 - EST 0 °C

Winding Temp. 6 - EST 0 °C

Winding Temp. AVG - EST 0 °C

Během měření jsou zobrazovány na levé straně hodnoty přímo měřené a na pravé straně je vypočtené oteplení včetně průměrného oteplení.

Podobně jako u předchozích měření je možné se během měření přepínat na graf a sledovat tak hodnoty oteplení.

Zastavit měření je možné kdykoliv ručně tlačítkem STOP.

Po ukončení měření je možné se přepínat na obrazovku grafu, případně ukončit buď modul tlačítkem BACK TO INPUT PANEL nebo celou aplikaci stiskem tlačítka EXIT PROGRAM.

Popis výstupního CSV souboru přímého měření oteplení:

Po úvodní informativní hlavičce následuje hlavička měření s těmito atributy (a samotná data):

- 1) Aktuální čas ve formátu HH.MM.SS (24 hod.)
- 2) Teplota sání do stroje (°C)
- 3) Teplota sání do motoru (°C)
- 4) Teplota - ložiska 1 (°C)
- 5) Teplota - ložiska 2 (°C)
- 6) Teplota – motor 1 (°C)
- 7) Teplota – motor 2 (°C)
- 8) Teplota – motor 3 (°C)
- 9) Teplota – motor 4 (°C) [\(jen při měření na deseti kanálech\)](#)
- 10) Teplota – motor 5 (°C) [\(jen při měření na deseti kanálech\)](#)
- 11) Teplota – motor 6 (°C) [\(jen při měření na deseti kanálech\)](#)
- 12) Oteplení na motoru 1 (°C) – odečtena teplota sání do stroje
- 13) Oteplení na motoru 2 (°C) – odečtena teplota sání do stroje
- 14) Oteplení na motoru 3 (°C) – odečtena teplota sání do stroje
- 15) Oteplení na motoru 4 (°C) – odečtena teplota sání do stroje [\(jen při měření na deseti kanálech\)](#)
- 16) Oteplení na motoru 5 (°C) – odečtena teplota sání do stroje [\(jen při měření na deseti kanálech\)](#)
- 17) Oteplení na motoru 6 (°C) – odečtena teplota sání do stroje [\(jen při měření na deseti kanálech\)](#)
- 18) Průměrné oteplení (°C) – odečtena teplota sání do stroje
- 19) Oteplení na motoru 1 (°C) – odečtena teplota sání do motoru
- 20) Oteplení na motoru 2 (°C) – odečtena teplota sání do motoru
- 21) Oteplení na motoru 3 (°C) – odečtena teplota sání do motoru
- 22) Oteplení na motoru 4 (°C) – odečtena teplota sání do motoru – [jen při měření na deseti kanálech](#)
- 23) Oteplení na motoru 5 (°C) – odečtena teplota sání do motoru – [jen při měření na deseti kanálech](#)
- 24) Oteplení na motoru 6 (°C) – odečtena teplota sání do motoru – [jen při měření na deseti kanálech](#)
- 25) Průměrné oteplení (°C) – odečtena teplota sání do motoru

5.2 Nepřímé měření oteplení

Indirect Measurement Of Resistance

Measured Values - Initial

Machine Suction Temp. 0 °C

Engine Suction Temp. 0 °C

Winding 4W Resistance 0 Ω

Winding 4W Resistance 0 Ω

Winding 4W Resistance 0 Ω

Measured Values - Cooling

Machine Suction Temp. 0 °C

Engine Suction Temp. 0 °C

Winding 4W Resistance 0 Ω

Winding 4W Resistance 0 Ω

Winding 4W Resistance 0 Ω

GET INITIAL VALUES 1

T0 - START TIMER 2

Timer (s) 0

T0 Start time

T1 Start time

T1 End time

Create CSV file

C:\testResI.csv

T1 - START MEASURE 3

SWITCH TO GRAPH

STOP 4

BACK TO INPUT PANEL

EXIT PROGRAM

Při nepřímém měření odporu se nejprve změří počáteční hodnoty za studena stiskem tlačítka GET INITIAL VALUES (1), ty se zobrazí v boxu Measured Values – Initial.

Po vypnutí stroje se spustí počítadlo stiskem tlačítka T0 – START TIMER (2), v indikátoru Timer běží počítadlo v sekundách a do indikátoru T0 Start time se uloží časová značka okamžiku stisku tlačítka.

Po zapojení měření na zastaveném stroji se stiskne tlačítko T1 – START MEASURE (3), tehdy se zastaví počítadlo Timer, do indikátoru T1 Start time se uloží značka okamžiku stisku tlačítka a běží měření, jehož průběžné hodnoty se zobrazují v boxu Measured Values – Cooling.

Měření se ukončí stiskem tlačítka STOP, kdy se uloží do indikátoru T1 End Time časová značka okamžiku stisku tlačítka.

Po ukončení měření je možné se přepínat na obrazovku grafu, případně ukončit buď modul tlačítkem BACK TO INPUT PANEL nebo celou aplikaci stiskem tlačítka EXIT PROGRAM.

Popis výstupního CSV souboru nepřímého měření oteplení:

Po úvodní informativní hlavičce následují počáteční hodnoty měření - Initial Values.

Dále jsou uloženy měřené hodnoty - Measured Values, hlavička této části je:

- 1) Aktuální čas ve formátu HH.MM.SS (24 hod.)
- 2) Teplota sání do stroje (°C)
- 3) Teplota sání do motoru (°C)
- 4) Odpor na vinutí motoru 1 (Ω)
- 5) Odpor na vinutí motoru 2 (Ω)
- 6) Odpor na vinutí motoru 3 (Ω)

A nakonec jsou uloženy vypočtené hodnoty - Cooling characteristics.

Hlavička těchto hodnot je následující:

- 1) Aktuální čas ve formátu HH.MM.SS (24 hod.)

- 2) Ochlazení na vinutí motoru 1 (°C)
- 3) Ochlazení na vinutí motoru 2 (°C)
- 4) Ochlazení na vinutí motoru 3 (°C)
- 5) Zprůměrované ochlazení na vinutích motoru (°C)

Hodnoty pod touto hlavičkou obsahují aproximované hodnoty na něž plynule navazují hodnoty ochlazení vypočtené ze skutečného měření.

Příloha IV

Výstupní soubory měření

Date:	5.4.2013	Measure:	Universal	Measured by:	Operator1
Channel:	Channel name:	Offset:	Gain:	Unit:	
6	Oil cooler out			°C	
7	Oil cooler in			°C	
8	Ambient temperature			°C	
15	Atmospherics press		0	0,232 bara	
16	Humidity		0	10 %	
Time:	Oil cooler out [°C]	Oil cooler in [°C]	Ambient temperature [°C]	Atmospherics press [bara]	Humidity [%]
16:46:48	23,402	23,274	22,63	0,99307721	45,101716
16:46:49	23,406	23,306	22,672	0,99312277	45,101716
16:46:51	23,449	23,331	22,666	0,99312783	45,098225
16:46:53	23,436	23,343	22,64	0,99312277	45,101389
16:46:55	23,439	23,329	22,637	0,99317339	45,101389
16:46:57	23,436	23,332	22,618	0,99314808	45,099861
16:46:59	23,464	23,316	22,61	0,99311771	45,101498
16:47:01	23,423	23,31	22,624	0,99311013	45,321542
16:47:03	23,483	23,367	22,616	0,99312783	45,09888
16:47:05	26,422	25,288	22,628	0,99311266	45,100843
16:47:07	26,389	24,978	22,65	0,99309746	44,989783
16:47:09	31,118	24,495	22,66	0,99314555	44,879489
16:47:11	34,086	24,206	22,668	0,99309493	44,875561
16:47:13	36,127	24,03	22,655	0,99311771	44,989565
16:47:15	37,848	23,927	22,613	0,99310505	44,986619
16:47:17	39,617	23,912	22,586	0,99311771	45,10008
16:47:19	41,215	23,839	22,567	0,99307721	44,98771
16:47:21	42,691	23,781	22,581	0,99304431	44,878289

Date: 5.4.2013 Measure: LAT/CTD Measured by Operator1

Time:	LAT [°C]	Alarm (95,0)	CTD [°C]	Alarm (20,0)	A/E Discharge [°C]	Alarm (100,0)	Ambient Temp [°C]	Alarm (20,0)	Inlet [°C]	Ch6	Inlet [°C]	Ch7
17:48:44	80,4	No	21,3	Yes	54,3	No	33,1	No	28,7		37,3	
17:48:45	80,4	No	21,3	Yes	54,3	No	33	No	28,6		37,3	
17:48:47	81,4	No	20,3	Yes	53,3	No	33	No	28,5		37,3	
17:48:49	79,4	No	22,3	Yes	55,3	No	32,9	No	28,4		37,2	
17:48:51	77,8	No	23,9	Yes	57	No	33,1	No	28,4		37,8	
17:48:53	76,5	No	25,2	Yes	58,7	No	33,4	No	28,1		39,4	
17:48:55	74	No	27,7	Yes	61,4	No	33,7	No	27,5		40,8	
17:48:57	72,4	No	29,3	Yes	62,9	No	33,6	No	27		41,4	
17:48:59	71,3	No	30,4	Yes	64	No	33,6	No	26,7		41,9	
17:49:01	70,1	No	31,6	Yes	65,1	No	33,5	No	26,2		42,2	
17:49:03	68,9	No	32,8	Yes	66,3	No	33,5	No	26,1		42,6	
17:49:05	67,5	No	34,2	Yes	67,7	No	33,5	No	25,9		43	
17:49:07	66	No	35,7	Yes	69,3	No	33,6	No	26		43,4	
17:49:09	64,6	No	37,1	Yes	70,7	No	33,6	No	25,8		43,7	
17:49:11	63,2	No	38,5	Yes	72,1	No	33,6	No	25,6		44,1	
17:49:13	61,8	No	39,9	Yes	73,6	No	33,7	No	25,6		44,5	
17:49:15	60,7	No	41	Yes	74,7	No	33,7	No	25,6		44,9	
17:49:17	60,2	No	41,5	Yes	75,3	No	33,8	No	25,6		45,3	
17:49:19	61,4	No	40,3	Yes	74,3	No	34	No	25,8		45,7	
17:49:21	62,6	No	39,1	Yes	73,1	No	34	No	25,7		46	
17:49:23	65,1	No	36,6	Yes	70,7	No	34,1	No	25,7		46,4	
17:49:25	69,3	No	32,4	Yes	66,6	No	34,2	No	25,9		46,8	
17:49:27	73	No	28,7	Yes	63	No	34,3	No	25,8		47,1	
17:49:29	75,2	No	26,5	Yes	60,9	No	34,4	No	25,8		47,6	
17:49:31	77,1	No	24,6	Yes	59,1	No	34,5	No	26		47,9	
17:49:33	78,7	No	23	Yes	57,6	No	34,6	No	25,9		48,3	
17:49:35	79,1	No	22,6	Yes	57,3	No	34,7	No	26,1		48,5	
17:49:37	79,4	No	22,3	Yes	57,2	No	34,9	No	26,2		48,9	
17:49:39	79,5	No	22,2	Yes	57,2	No	35	No	26,5		49,1	
17:49:41	78,9	No	22,8	Yes	57,8	No	35	No	26,4		49,4	

Date:	5.4.2013 Measure:		Flow	Measured by:		Operator1
Time:	Flow [m3/min]	Flow deviation [%]	Nominal specific power [kW/m3/min]	Specific power [kW/m3/min]	Specific power deviation [%]	
18:11:03	37,237	4,892	8,563	7,769	9,274	
18:11:04	37,239	4,895	8,563	7,772	9,272	
18:11:06	37,24	4,896	8,563	7,774	9,27	
18:11:08	37,236	4,895	8,563	7,776	9,268	
18:11:10	37,238	4,893	8,563	7,778	9,265	
18:11:12	37,239	4,894	8,563	7,775	9,263	
18:11:14	37,31	4,891	8,563	7,776	9,26	
18:11:16	37,321	4,892	8,563	7,772	9,261	
18:11:18	37,325	4,892	8,563	7,77	9,263	
18:11:20	37,324	4,89	8,563	7,769	9,264	
18:11:22	37,238	4,888	8,563	7,776	9,268	
18:11:24	37,242	4,894	8,563	7,772	9,27	
18:11:26	37,24	4,891	8,563	7,769	9,272	
18:11:28	37,242	4,886	8,563	7,769	9,274	
18:11:30	37,248	4,887	8,563	7,767	9,271	
18:11:32	37,252	4,885	8,563	7,765	9,275	
18:11:34	37,249	4,892	8,563	7,764	9,277	
18:11:36	37,244	4,895	8,563	7,762	9,278	
18:11:38	37,239	4,894	8,563	7,759	9,281	
18:11:40	37,24	4,891	8,563	7,757	9,283	
18:11:42	37,237	4,892	8,563	7,754	9,284	
18:11:44	37,238	4,887	8,563	7,752	9,286	
18:11:46	37,233	4,886	8,563	7,756	9,289	
18:11:48	37,23	4,887	8,563	7,756	9,291	
18:11:50	37,232	4,892	8,563	7,759	9,288	
18:11:52	37,231	4,895	8,563	7,76	9,284	
18:11:54	37,235	4,897	8,563	7,764	9,282	
18:11:56	37,237	4,902	8,563	7,766	9,28	
18:11:58	37,241	4,904	8,563	7,769	9,278	

Příloha V

Fotodokumentace ze zkušebního
měření



Příloha VI

Programátorská příručka (C#)

Programátorská příručka – AgilentApplication C#

1. Obecné informace

Program byl napsán v jazyce C# jako Windows Forms aplikace a obsahuje třídy MainApplication a Program. Třída MainApplication je rozdělena do dvou souborů zdrojového kódu (partial class), z nichž část Designer obsahuje generovaný kód na základě vizuálně vytvořených ovládacích a zobrazovacích prvků, metody části Designer nebudu popisovat, protože jsou standardní součástí každé Windows Forms aplikace. Samotná aplikace je spouštěna statickou metodou Main() ve třídě Program.

2. Popis jednotlivých metod

Init() - bezparametrová metoda, provádí nastavení výchozích hodnot aplikace

chkCommIni() – bezparametrová metoda, která se pokusí načíst inicializační řetězec ze souboru AgilentComm.ini umístěného v adresáři aplikace, v případě úspěchu vrátí tento řetězec jako string, v případě neúspěchu vrátí prázdný string

saveCommIni() – metoda s parametrem typu string, ukládá inicializační řetězec do souboru AgilentComm.ini umístěného v adresáři aplikace přepisem jeho obsahu

scanList() – metoda s jedním vstupním parametrem a třemi výstupními typu string, která z pole vybraných kanálů vytváří jednotlivé scan listy

confAndMeasure() – bezparametrová metoda spouštějící vlastní měření, provede se inicializace jednotky, naplní se scan listy, nakonfigurují jednotlivé druhy měření a ve smyčce While (ukončení při změně proměnné loopVariable na false) je snímáno pole hodnot, které je zapisováno skrze metody fillDataGridRows() do DataGridView. Perioda je nastavena podle objektu numericPeriod a její vlastnosti Value. V případě jakékoliv chyby je tato vypsána ve vyskakovacím okně.

startworkerthread() – bezparametrová metoda, která spouští další vlákno, ve kterém běží měření

fillDataGridHeader() – bezparametrová metoda, která vyplňuje hlavičku DataGridView

fillDataGridRows() – bezparametrová metoda, která vyplňuje DataGridView měřeními daty

3. Popis událostí

buttonChck_Click() – událost reagující na stisk tlačítka check, vytvoří instanci rozhraní Agilent34980() a pokusí se provést inicializaci jednotky na základě předaného inicializačního řetězce, v případě úspěchu spustí vyskakovací okno s textem: **Unit connected successfully** a provede metodu saveCommIni(), do parametru metody uloží aktuální inicializační řetězec, v případě neúspěchu spustí vyskakovací okno s chybovou zprávou zachycenou v bloku catch.

buttonExit_Click() – událost reagující na stisk tlačítka EXIT PROGRAM, která spustí dialogové vyskakovací okno s textem: **Do you want to exit application ?**, v případě stisku tlačítka Yes ukončí aplikaci metodou Exit(), v případě stisku No se okno zavře a aplikace zůstává dále spuštěna.

buttonBack_Click() – událost reagující na stisk tlačítka BACK TO CONFIG, která spustí dialogové vyskakovací okno s textem: **Do you want back to configuration?**, v případě stisku tlačítka Yes se

provede metoda `Init()`, v případě stisku No se okno zavře a aplikace zůstává spuštěna na obrazovce měření.

`buttonReset_Click()` – událost reagující na stisk tlačítka RESET, která spustí metodu `Init()` čímž provede vynulování proměnných aplikace.

`comboBox1_SelectedIndexChanged()` – událost reagující na stisky tlačítek pro nastavení kanálů, pokud je vybrán kanál, „rozsvítí“ se i LED dioda pro ten kanál, pokud se zruší výběr tohoto kanálu, LED dioda „zhasne“.

`buttonMeasure_Click()` – událost reagující na stisk tlačítka MEASURE, která nejprve prověří, zda je vybrán k měření alespoň jeden kanál a v případě úspěchu přepne obrazovku na měřící, předá do stringu `sList` vrácenou hodnotu metody `scanList()` a vyplní hlavičku `DataGridView` měření spuštěním metody `fillDataGridHeader()`.

`buttonStart_Click()` – událost reagující na stisk tlačítka START, která nejprve nastaví vlastnosti `Enabled` ostatních tlačítek a poté spustí metodu `startworkerthread()`.

`buttonStop_Click()` – událost reagující na stisk tlačítka STOP, která nejprve uloží do proměnné `loopVariable = false` a nastaví vlastnosti `Enabled` ostatních tlačítek.

`text1_TextChanged()` – událost reagující na změnu textu v `TextBoxech` – názvech kanálů a ukládání těchto hodnot do pole `textArray`